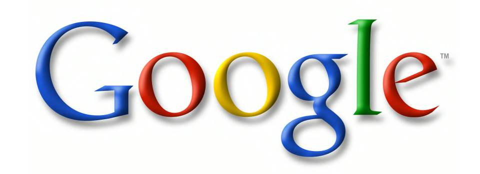






ÉCLAIRAGE

A

L'ÉLECTRICITÉ

Pour tous les renseignements complémentaires relatifs à l'éclairage à l'électricité, on peut s'adresser directement à M. HIPPOLYTE FONTAINE, *52, rue Saint-Georges, Paris.*

PARIS. — TYPOGRAPHIE A. HENNUYER, RUE D'ARCET, 7.

ÉCLAIRAGE

A

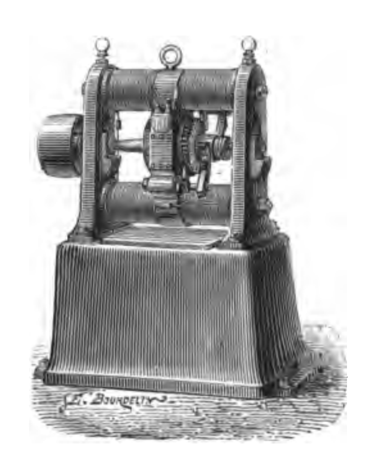
L'ÉLECTRICITÉ

RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

PAR

HIPPOLYTE FONTAINE

48 GRAVURES DANS LE TEXTE



PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE

J. BAUDRY, LIBRAIRE-ÉDITEUR

RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

LIÉGE, MÊME MAISON

1877

1878, June 27.
Farrar Fund.

AVANT-PROPOS

Notre but, en publiant cet ouvrage, est de montrer quelles sont, dans l'état actuel de la science, les applications judicieuses que l'on peut faire de l'électricité à l'éclairage; c'est autant pour enregistrer les services que la nouvelle lumière est susceptible de rendre à une foule d'industries, que pour combattre les fausses idées répandues sur la possibilité de son emploi universel.

Peu de questions ont en ce moment le privilége d'exciter l'attention publique autant que celle qui nous occupe; on fait des expériences en France, en Angleterre, en Allemagne, en Russie, en Belgique, en Suède, en Autriche, en Espagne, en Amérique; sur les navires, les quais, les chantiers; dans les usines, les ports, les places fortes, les gares de chemins de fer, etc., etc. C'est un engouement général.

Dans ce siècle, où les progrès se succèdent si rapidement, beaucoup de personnes n'attendent même pas la sanction de l'expérience pour exalter une nouvelle invention au détriment de toutes les autres; ces personnes ont à peine eu le temps d'admirer les merveilleux effets de l'éclairage au gaz, qu'elles saluent l'aurore de l'éclairage à

l'électricité, en proclamant qu'il est cent fois plus économique que le précédent, qu'on peut l'employer partout, le fractionner indéfiniment et que sa lumière est aussi belle et aussi intense que le soleil lui-même.

D'autres personnes, malheureusement plus nombreuses que les premières, ne veulent pas sortir de la routine et entravent par leur inertie la marche de tous les progrès. Pour elles, la lumière électrique ne saurait exister industriellement ; c'est un foyer fantaisiste qui éblouit ceux qui le regardent et fatigue tellement les yeux, qu'il est matériellement impossible d'en faire usage.

Nous ignorons les surprises que l'avenir nous réserve, mais notre connaissance du sujet nous permet d'affirmer que le rôle de l'électricité est loin d'être arrivé à son entier développement, surtout au point de vue de la transformation du mouvement en lumière. L'important n'est d'ailleurs pas de savoir ce qui sera, c'est de connaître ce qui est. Et, c'est pourquoi nous présentons aujourd'hui une étude sur les éléments qui sont définitivement entrés dans le domaine pratique de l'éclairage à l'électricité et sur les meilleures conditions de les mettre en usage. Plus tard, lorsque les perfectionnements surgiront, on les mettra d'autant mieux à profit que l'on aura su mieux apprécier leurs avantages ; en attendant il nous paraîtrait peu raisonnable de négliger l'emploi de ce qui est déjà très-bon, sous prétexte qu'on arrivera un jour à quelque chose de plus parfait.

La lumière électrique peut être utilisée de deux manières, soit en de puissants foyers permettant de voir ou d'être vu à de grandes distances ; soit en des foyers moins intenses donnant un éclairage propre à toutes sortes de travaux de nuit. Dans le premier cas, rien ne peut égaler les services rendus par l'électricité ; dans le second cas, ce n'est plus qu'une affaire de comparaison, tantôt à l'avantage du gaz,

de l'huile, du pétrole, etc., tantôt à l'avantage de l'électricité.

Ainsi pour le service des phares, des forts, des navires, des côtes, des armées en campagne, la lumière électrique est supérieure à toutes les autres; pour les ateliers ou les manufactures, pour les chantiers en plein air et les vastes cours d'usines, elle est également excellente; pour l'éclairage des maisons d'habitation et de certaines fabriques à plafonds bas, où il existe une grande subdivision de locaux, le gaz, l'huile ou le pétrole sont préférables. Dans beaucoup d'établissements installés aujourd'hui avec le gaz, il y a intérêt à lui substituer l'électricité.

Disons-le tout de suite, le nombre des applications serait assez restreint si l'on devait continuer à se priver de lumière, comme c'est l'habitude aujourd'hui dans la plupart des manufactures, où la surveillance est impossible la nuit, où le travail produit pendant les veillées est beaucoup moindre que pendant la journée. Mais, hâtons-nous d'ajouter que ce *statu quo* n'est pas à redouter; dès que les industriels intelligents, et le nombre en est grand, auront remplacé leur éclairage actuel par un éclairage quatre ou cinq fois plus intense, ils ne tarderont pas à constater qu'ils produisent mieux, en plus grande quantité, et, par suite, plus économiquement; leur exemple ne sera pas perdu, et, pour soutenir la concurrence, leurs confrères se hâteront de les imiter.

A l'appui de cette opinion, il nous suffira de rappeler que la machine Gramme, avec laquelle on obtient pratiquement l'éclairage électrique, n'avait l'année dernière que douze applications, tandis qu'elle en compte aujourd'hui plus de deux cents. Et cependant on n'a pas manqué de critiquer cette nouvelle machine : on disait qu'elle s'échauffait, qu'elle était onéreuse, incommode, capricieuse; on allait jusqu'à prétendre qu'elle ne pouvait pas

fonctionner dix heures sans avoir besoin de réparations, La vérité, c'est qu'elle fonctionne parfaitement et que, loin de se détériorer, elle s'améliore plutôt par l'usage.

Notre travail est divisé en douze chapitres; les six premiers sont consacrés à l'étude de l'arc voltaïque, des charbons, des régulateurs et des machines magnéto-électriques; les six derniers traitent des applications réalisées, des prix comparés de diverses sources lumineuses, de l'éclairage par incandescence et de la divisibilité de la lumière électrique.

Les personnes cherchant simplement à se rendre compte de la possibilité d'utiliser chez elles la lumière électrique, pourront se borner à lire les chapitres VII, VIII et IX, qui renferment tous les renseignements nécessaires pour faire un devis et pour apprécier les avantages qu'on rencontre dans ce mode d'éclairage.

Nous nous sommes un peu étendu sur les expériences faites par divers savants pour déterminer la nature et les propriétés de l'arc voltaïque; c'était là le point de départ de la nouvelle méthode, et il importait de bien expliquer le phénomène qui a donné naissance aux remarquables applications que nous citons ensuite, pour permettre de les juger en toute connaissance de cause.

L'étude des régulateurs aurait pu faire l'objet d'un ouvrage spécial, tant il y a eu de types proposés et essayés; mais comme la plupart des appareils ont de nombreux inconvénients, nous avons préféré ne faire mention que de ceux qui se présentaient avec des caractères originaux, pouvant servir de base à une nouvelle invention ou éloigner les chercheurs de combinaisons jugées impraticables. L'appareil de M. Serrin devait avoir et a eu en effet les honneurs de notre compte rendu, comme étant jusqu'à présent le seul qui soit susceptible d'un bon usage dans l'industrie.

La fabrication des baguettes de charbon destinées à garnir les régulateurs et à rougir sous l'influence du fluide électrique a une importance exceptionnelle : c'est peut-être d'elle uniquement que dépend aujourd'hui le succès de l'éclairage à l'électricité. Aussi lui avons-nous consacré un long chapitre et avons-nous détaillé minutieusement les procédés de MM. Carré et Gaudoin, qui sont les plus perfectionnés. Des expériences précises sur la quantité de lumière produite par divers charbons complètent nos descriptions.

Avant d'aborder l'étude de la machine Gramme, nous avons passé en revue les principales machines magnéto-électriques qui l'ont précédée, et, grâce à de nombreuses gravures, nous espérons avoir fait comprendre, même aux personnes les moins initiées à la physique moderne, les principes de ces merveilleux engins qui engendrent des torrents d'électricité, sans acide, sans usure de métaux, rien que par l'influence d'aimants et de spires de cuivre en mouvement relatif.

La machine Gramme étant seule appliquée dans les ateliers de construction, il était utile d'en parler longuement et de bien caractériser son principe, son mode de construction et ses multiples effets. Là encore il nous a fallu beaucoup de dessins pour bien expliquer l'appareil et montrer les diverses formes qu'il peut revêtir.

Mais c'est surtout dans la partie consacrée aux applications que nous sommes entré dans des détails précis, en insistant particulièrement sur la force motrice dépensée et sur le prix de revient réel de l'éclairage à l'électricité. Pour l'évaluation de la force motrice, nous avions à notre disposition les rapports de MM. Tresca, membre de l'Institut; Hagenbach, professeur de l'Université de Bâle, et Schneider, professeur de physique à Mulhouse. Pour la comparaison des prix de revient de diverses lumières,

nous avons puisé à des sources autorisées, notamment chez les personnes qui emploient depuis plusieurs années ce nouveau système d'éclairage. Les applications à la marine, à l'artillerie, au génie, aux travaux publics ont été signalées sans grand développement; car les divers gouvernements qui ont expérimenté les machines Gramme ont gardé secrets, jusqu'à présent, tous les résultats observés. Toutefois de nombreuses et fort importantes commandes, obtenues à la suite d'essais prolongés, nous autorisent à dire que le succès a été complet.

Les ateliers de constructions mécaniques ont, les premiers, fait usage de l'éclairage à l'électricité; puis les teintureries, qui ont besoin d'une lumière très-blanche; les sucreries, où la vapeur, produite très-économiquement, est utilisée à la sortie des cylindres moteurs. Les compagnies de chemins de fer l'ont adopté pour l'illumination de leurs halles à marchandises; les entrepreneurs de travaux publics, pour l'exécution, pendant la nuit, des terrassements et des maçonneries; enfin les filatures, les forges, les fonderies, etc., l'ont également installé avec succès.

On avait beaucoup parlé, il y a trois ans, d'un nouveau système d'éclairage à l'électricité, invention d'un professeur russe qui consistait dans l'incandescence d'une petite baguette de carbone. On a même cru, pendant quelque temps, qu'on pourrait, à l'aide de cette invention, diviser la lumière en quelque sorte indéfiniment et l'installer partout, presque pour rien.

Une étude approfondie du sujet et de nombreuses expériences directes nous ont permis de réduire à sa valeur réelle ce système, qui, s'il est défectueux quand on le considère comme capable de révolutionner l'éclairage actuel, est très-remarquable, au contraire, lorsqu'on n'a en vue qu'un très-petit nombre d'applications spéciales.

Les bougies de M. Jablochkoff, autour desquelles on fait maintenant grand bruit, nous paraissent mériter la même appréciation; si elles aboutissent à quelque chose de pratique, ce qui est d'ailleurs fort possible, elles seront utiles dans des cas déterminés, mais ne remplaceront rien, d'une manière absolue. Malgré notre sympathie pour l'inventeur, nous avons dû tenir le lecteur en garde contre les exagérations répandues à propos des expériences faites dans un magasin à Paris, et ramener à leur juste valeur les conséquences qu'on peut logiquement tirer de ces expériences.

Enfin, nous terminons notre revue analytique par la description des moyens tentés pour diviser la lumière et par quelques réflexions sur l'état actuel de la question.

Nous avons consulté les ouvrages spéciaux suivants et emprunté à plusieurs d'entre eux des notes intéressantes : traités de physique de MM. Jamin, Daguin, Ganot, Pouillet; traités d'électricité de MM. Becquerel, de la Rive, du Moncel, Jenkin, Guthrie; traités de lumière de MM. Tyndall, Becquerel, Moitessier; l'*Étincelle électrique* de M. Cazin, les *Machines Gramme* de M. Niaudet-Bréguet, les *Merveilles de la science* de M. Figuier, la collection des *Mondes* de l'abbé Moigno, les *Machines magnéto-électriques françaises* de M. Leroux, la collection des Comptes rendus de l'Académie des sciences, des Bulletins de la Société d'encouragement, et la collection des Brevets français et anglais.

Nos recherches dans les collections de brevets français et anglais nous ont procuré des renseignements fort curieux; nous y avons relevé plus de cent descriptions d'appareils dont nous n'avons publié qu'une bien faible partie, pour ne pas trop nous éloigner des applications pratiques, objet principal de notre travail.

Parmi ces anciennes inventions, il en est bon nombre qui

se représentent aujourd'hui sous d'autres noms et qu'on croit nouvelles. Il nous serait même facile de citer plus d'un breveté dont l'imagination ne fait que rajeunir de vieilles combinaisons et qui pourrait dire comme certain inventeur du lendemain : « Les anciens sont peu honnêtes, ils m'ont volé toutes mes idées. »

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE I.

ARC VOLTAÏQUE.

PAGES.

Des divers moyens d'obtenir la lumière électrique. — Arc voltaïque. — Ses propriétés. — Expérience de Despretz. — Aspect de deux charbons pendant leur éclat. — Expérience de Matteucci. — Conférence de M. Le Roux. — Analogie entre la lumière électrique et la lumière solaire. — Expériences de Tyndall sur la chaleur développée par l'arc voltaïque. — Emploi de la lumière électrique dans les théâtres. — Éclairage des travaux de nuit. — Rapport de M. Brüll sur l'emploi des régulateurs Serrin en Espagne. . 1

CHAPITRE II.

RÉGULATEURS ÉLECTRIQUES.

Du peu d'utilité des recherches actuelles sur les régulateurs. — Expériences de Deleuil. — Appareil Thomas Wright. — Régulateur Staite et Edwards. — Régulateur Le Molt. — Régulateur Archereau. — Régulateur Lacassagne et Thiers. — Régulateur Gaiffe. — Régulateur Foucault et Duboscq. — Régulateur Way. — Régulateur Hafner Alteneck. — Régulateur Serrin. — Régulateur Girouard. — Régulateur Carré. — Inventions de M. Jablochkoff 13

CHAPITRE III.

CHARBONS ÉLECTRIQUES.

Baguettes en charbon de bois. — Charbon de cornue : ses inconvénients. Charbon Staite et Edwards. — Charbon Le Molt. — Charbon Lacassagne et Thiers. — Charbon Curmer. — Charbon Jacquelain. — Charbon Peyret. — Charbon Archereau. — Expériences de M. Carré : ses procédés de fabrication. — Essais comparatifs des charbons Archereau, Carré, Gaudo inet de ceux de cornue 47

CHAPITRE IV.

MACHINES MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES.

Définition. — Transformation du travail en électricité. — Influence d'un courant sur une aiguille aimantée. — Expérience d'Œrstedt. — Action mutuelle de deux courants. — Découverte d'Ampère. — Action d'un courant sur un fer doux. — Découverte d'Arago. — Action d'un aimant sur une spire métallique. — Découverte et expériences de Faraday. — Électricité d'induction. — Machine de Pixii, commutateur. — Machine de Clarke. — Machine de Niaudet. — Machine de Nollet ou de l'*Alliance*. — Machine de Holmes. — Machine de Wilde. — Progrès réalisés par Wheatstone et Siemens. — Magnétisme rémanent. — Machine de Ladd 65

CHAPITRE V.

MACHINE MAGNÉTO-ÉLECTRIQUE GRAMME.

PAGES.

Succès obtenus par la machine Gramme. — Principe sur lequel elle repose. — Analyse des effets obtenus avec un électro-aimant circulaire. — Action du fer doux sur les spires de cuivre. — Action des aimants permanents. — Manière de recueillir les courants. — Bobines partielles. — Ensemble d'une machine de démonstration. — Machine verticale pour galvanoplastie. — Machine horizontale pour galvanoplastie. — Machine de laboratoire à aimant Jamin. — Machine à pédale. — Application à la médecine. — Applications diverses. — Transport des forces motrices à distance. — Revendication et contrefaçon. — Machine Worms de Romilly. — Machine Pacinotti. — Services rendus à l'industrie par M. Gramme 89

CHAPITRE VI.

MACHINES GRAMME POUR LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

Machine verticale à six barres d'électro-aimant et trois bobines. — Machine verticale à deux bobines. — Machine horizontale à quatre barres d'électro-aimant et une bobine double. — Comparaison entre une machine de *l'Alliance* et une machine Gramme au triple point de vue du poids, de l'emplacement et du prix. — Machine d'atelier, type normal. — Mesures photométriques. — Différence entre les mesures prises sous divers angles. — Intensités lumineuses d'une machine d'atelier 113

CHAPITRE VII.

APPLICATIONS INDUSTRIELLES.

Des conditions à réaliser pour un bon emploi de la lumière à l'électricité. — Espaces que peut éclairer une seule machine. — Prix de revient et commodité. — Installation dans l'atelier de l'inventeur. — Établissement Ducommun à Mulhouse. — Ateliers Sautter, Lemonnier et Ce, à Paris. — Usines Ménier à Noisiel, Grenelle et Roye. — Installation dans les filatures. — Gare des marchandises de la Chapelle-Paris. — Chantiers de M. Jeanne-Deslandes au Havre. — Plafond lumineux. — Port du canal de la Marne au Rhin à Sermaize. — Éclairage d'une piste de patinage. — Applications diverses. 125

CHAPITRE VIII.

APPLICATIONS AUX PHARES, AUX NAVIRES, AUX PLACES FORTES.

Éclairage des phares. — Phare de la Hève. — Rapport de M. Quinette de Rochemont. — Divers phares éclairés électriquement. — Installation faite à bord du steamer *l'Amérique*, de la Compagnie transatlantique. — Rapport du capitaine Pouzolz. — Premières tentatives par la société *l'Alliance*. — Installation à bord du *Livadia*. — Projecteur Sautter. — Applications aux opérations militaires. — Expériences faites au mont Valérien. — Projecteur Mangin. — Machine locomobile actionnée par une machine Brotherhood. — Machine Gramme pouvant doubler instantanément sa lumière. 153

CHAPITRE IX.

FORCE MOTRICE ABSORBÉE PAR LES MACHINES GRAMME.

PAGES.

Expériences directes. — Rapport de M. Tresca à l'Académie des sciences sur la force dépensée par deux machines Gramme ayant respectivement 1850 et 302 becs de puissance. — Rapport de M. Hagenbach, de Bâle, sur une machine de 80 becs. — Intensité du courant. — Force électro-motrice, travail absorbé. — Rapport de MM. Schneider et Heilmann sur le pouvoir éclairant et la dépense des quatre machines installées dans les ateliers Ducommun, de Mulhouse 169

CHAPITRE X.

PRIX DE L'ÉCLAIRAGE A L'ÉLECTRICITÉ.

Prix de l'éclairage au moyen de la pile Bunsen. — Évaluation de M. Becquerel. — Tableau des dépenses faites par MM. Lacassagne et Thiers. — Prix de l'éclairage au moyen de la machine de *l'Alliance*. — Prix de l'éclairage au moyen de la machine Gramme. — Tableau comparatif du prix de diverses lumières. — Calculs de M. Heilmann. — Devis comparatif d'une installation au gaz et à l'électricité 193

CHAPITRE XI.

ÉCLAIRAGE PAR INCANDESCENCE.

Emploi des tubes de Geissler. — Rapport présenté à l'Académie des sciences par M. Coste, au nom de M. Gervais. — Invention de M. King. — Lampe Lodyguine. — Rapport de M. Wild à l'Académie de Saint-Pétersbourg. — Lampe Konn. — Lampe Bouliguine. — Expériences faites par l'auteur sur l'éclairage par incandescence. — Lampe H. Fontaine 203

CHAPITRE XII.

DIVISIBILITÉ DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

Observations générales sur la divisibilité de la lumière électrique. — Impossibilité de créer de très-petits foyers avec les moyens actuellement connus. — Invention de M. de Changy. — Rapport de M. Jobart. — Régulateur-diviseur Lacassagne et Thiers. — Expériences de M. Le Roux. — Appareil de M. de Mersanne. — Expériences de M. Jablochkoff aux magasins du Louvre 206

TABLE DES GRAVURES

FIGURES.		PAGES.
1.	Arc voltaïque	5
2.	Éclairage d'un chantier en construction	12
3.	Régulateur Staite et Edwards	17
4.	— Le Molt	19
5.	— Archereau	21
6.	— Gaiffe	25
7.	— Foucault-Duboscq	31
8.	— Hafner-Alteneck	33
9.	— Serrin	37
10.	Expériences de Faraday	67
11.	Expériences de Faraday	68
12.	Machine Pixii	70
13.	Commutateur	71
14.	Machine Clarke	73
15.	— Niaudet	74
16.	— Siemens	76
17.	— *Alliance*	78
18.	— Holmes	81
19.	— Wild	83
20.	— Ladd	85
21.	Barreau aimanté et spire métallique	90
22.	Barreau aimanté et spire métallique	91
23.	Anneau de Gramme	92
24.	Anneau de Gramme et aimant	92
25.	Construction de l'anneau Gramme	96
26.	Machine Gramme de démonstration	97
27.	— verticale pour galvanoplastie	99
28.	— horizontale pour galvanoplastie	101
29.	— à aimant ordinaire	103
30.	— à aimant Jamin	104
31.	— à pédale	105
32.	— verticale de 500 becs	114
33.	— horizontale de 2 000 becs	116
34.	— horizontale de 2 000 becs	117
35.	— type normal d'atelier	120
36.	— avec son moteur	129
37.	Vue des ateliers de MM. Sautter, Lemonnier et Cie	133
38. 39. 40.	Suspension des régulateurs; système Ménier	135
41.	Filature de coton de MM. Ricart fils	141
42.	Plafond lumineux	148
43.	Projecteur Sautter et Lemonnier	163
44.	Machine Gramme locomobile	166
45.	Lampe King à incandescence	208
46.	— Konn à incandescence	213
47.	— Bouliguine à incandescence	217
48.	— H. Fontaine	223

ÉCLAIRAGE

A

L'ÉLECTRICITÉ

CHAPITRE I.

DE L'ARC VOLTAÏQUE.

Des divers moyens d'obtenir la lumière électrique. — Arc voltaïque. — Ses propriétés. — Expériences de Despretz. — Aspect de deux charbons pendant leur éclat. — Expérience de Matteucci. — Conférence de M. Le Roux. — Analogie entre la lumière électrique et la lumière solaire. — Expériences de Tyndall sur la chaleur développée par l'arc voltaïque. — Emploi de la lumière électrique dans les théâtres. — Eclairage des travaux de nuit. — Rapport de M. Brüll sur l'emploi des régulateurs Serrin en Espagne.

Il y a deux manières d'obtenir pratiquement de la lumière électrique : la première, qui est presque exclusivement la seule connue, consiste dans l'emploi de deux électrodes en charbon, entre les extrémités desquelles jaillit une série d'étincelles formant un foyer éblouissant appelé *arc voltaïque*; la seconde est basée sur l'incandescence d'une baguette de carbone interposée entre deux conducteurs, également en charbon, d'une section beaucoup plus grande que la baguette lumineuse.

On peut encore produire de la lumière en se servant des tubes électriques de Gessler, mais le faible pouvoir éclairant de ces tubes les rend impropres à tout usage domestique ou industriel.

La lumière résultant de l'arc voltaïque a l'avantage

d'avoir été étudiée par un grand nombre de physiciens, et d'être aujourd'hui d'un usage pratique, mais elle présente l'inconvénient capital de ne pouvoir s'obtenir que par grands foyers et d'être indivisible au-dessous d'une certaine intensité.

La lumière par incandescence permet l'obtention de petits foyers et le fractionnement plus ou moins grand de l'éclairage, mais elle ne s'obtient qu'à l'aide de procédés compliqués et ne donne qu'un très-faible rendement eu égard à la puissance des piles ou à la force motrice dépensée pour actionner la machine magnéto-électrique.

Comme nous avons principalement pour but de faire connaître les applications industrielles de la lumière électrique, nous nous occuperons spécialement des effets observés dans la production de l'arc voltaïque, en consacrant un chapitre seulement à la description des expériences faites et des appareils imaginés pour obtenir de la lumière par incandescence.

Quelques explications préalables sont nécessaires pour bien faire comprendre les appareils de régularisation qui seront décrits plus loin.

En approchant l'un de l'autre les deux conducteurs d'une source d'électricité suffisamment intense, jusqu'à ce qu'ils se touchent et en les éloignant ensuite graduellement, on voit apparaître un arc lumineux extrêmement brillant qui persiste tant que la distance entre les conducteurs n'est pas trop grande. Cet arc a reçu le nom d'*arc voltaïque,* en mémoire de la pile avec laquelle il a été produit pour la première fois.

L'éclat de l'arc voltaïque dépend de l'intensité du courant, de la nature des électrodes et du milieu dans lequel il se produit. Avec du potassium ou du sodium, par exemple, la lumière est plus brillante qu'avec du platine ou de l'or; dans l'air on a plus de lumière que dans les vapeurs mercurielles.

La couleur de l'arc varie avec la substance des électrodes : elle est jaune avec du sodium, blanche avec du zinc, verte avec de l'argent, etc.

L'aspect du foyer dépend surtout de la forme des électrodes : entre une pointe de coke positive et une plaque de platine négative, il présente la forme d'un cône; entre deux pointes de charbon, il a la forme d'un œuf; etc.

La longueur maxima du foyer dépend surtout de l'intensité du courant. Davy, qui, le premier, en 1813, observa l'arc voltaïque, trouva qu'avec 2 000 couples zinc et cuivre, de 2 décimètres carrés chacun, on obtenait un écart entre les charbons de 0m,11 dans l'air et de 0m,18 dans le vide.

Despretz a fait, vers 1850, une série d'expériences sur l'arc voltaïque et il a trouvé : 1° que la longueur de l'arc croît plus vite que le nombre des éléments employés à le produire; 2° que cet accroissement est plus prononcé pour de petits arcs que pour de grands. Ainsi l'arc produit avec 100 éléments Bunsen est presque quadruple de celui produit par 50 éléments; celui résultant de 200 éléments n'est pas triple de celui de 100; celui de 600 éléments est environ 7 fois et demie plus grand que celui de 100. La pile de 600 éléments, couplés en une seule série, a donné jusqu'à 0m,20 d'arc lorsque le positif est en haut; 3° que, lorsqu'on couple les éléments en quantité, la longueur de l'arc croît moins vite que le nombre des éléments. L'arc de 100 éléments étant de 0m,025, n'est que de 0m,069 avec 600 éléments couplés en 6 séries de 100, tandis qu'avec la même batterie de 600 éléments couplés en tension, il atteint 0m,183. En couplant successivement en quantité des séries de piles de 25 éléments de tension, on obtient : pour une seule série, un arc à peu près nul; pour deux séries, un arc encore trop petit pour être mesuré; pour 3 séries, 0m,001, et pour 24 séries, 0m,0115. Les mêmes piles couplées en tension donnent un arc de 0m,162, c'est-à-dire un écart de charbon 14 fois

plus grand qu'avec les 24 séries couplées en quantité; 4° que, lorsque le pôle positif est en bas, l'arc voltaïque est moins long que lorsque c'est le pôle négatif qui occupe cette place. Avec 6 séries de 100 éléments couplées en quantité on obtient $0^m,074$ d'écart lorsque l'électrode positive est en haut et $0^m,056$ si elle est en bas; 5° que, lorsque les électrodes sont placées horizontalement, les arcs sont moins longs qu'avec des électrodes verticales et qu'alors la pile de quantité devient plus avantageuse que celle de tension. Ainsi 6 séries de 100 éléments couplées en quantité donnent un arc horizontal de $0^m,040$ et 600 éléments bout à bout ne donnent qu'un arc horizontal de $0^m,027$.

Les expériences de Despretz sont les seules qui ont été assez complètes pour donner lieu à des conclusions précises, et elles expliquent très-bien les difficultés qu'ont rencontrées les constructeurs de machines magnéto-électriques en cherchant à obtenir de la lumière voltaïque avec des appareils de grande quantité et de faible tension.

L'arc voltaïque résulte de l'incandescence d'un jet de particules détachées des électrodes et projetées dans toutes les directions. Cette projection a principalement lieu d'un pôle à l'autre et plus particulièrement du pôle positif au pôle négatif. L'électrode positive a une température beaucoup plus élevée que l'autre, et, tandis que le charbon négatif est à peine rouge sombre à quelque distance de l'arc, le charbon positif est rouge blanc sur une assez grande longueur. L'usure de l'électrode positive, pour un temps déterminé, est double de celle de l'électrode négative. C'est cette différence, dans l'usure et la température, observée dès le début par les physiciens, qui fit d'abord expliquer le phénomène de l'arc lumineux comme un simple transport de particules du pôle positif au pôle négatif. Aujourd'hui il est bien démontré que, si le transport de l'électrode positive à l'électrode négative prédomine dans l'arc, il n'en existe pas

moins un transport très-actif de l'électrode négative à l'électrode positive.

L'arc (fig. 1) ressemble à une flamme tremblante, dont la forme est ovoïde avec des pointes de charbon. De temps en temps, on voit une particule brillante s'élancer d'une électrode à l'autre en produisant une traînée lumineuse. Sur



Fig. 1. Arc voltaïque.

chacun des charbons apparaissent çà et là des globules liquides et incandescents *g*, *g*, provenant de substances minérales qui se déplacent, glissent jusqu'à la pointe et s'élancent pour gagner l'autre électrode.

Ces globules liquides n'apparaissent pas lorsque les charbons sont chimiquement purs.

Quand l'arc voltaïque se produit dans l'air, les deux tiges de charbon diminuent rapidement de volume, parce qu'elles

brûlent toutes deux; mais, dans le vide, cette combustion n'a pas lieu et l'on voit la pointe positive se creuser et diminuer de poids tandis que la pointe négative s'allonge et augmente de volume. L'usure est presque nulle et ne résulte que des particules projetées par les deux charbons en dehors de leur action réciproque.

En réalité, l'arc voltaïque est une portion du circuit électrique jouissant de toutes les propriétés des autres parties du même circuit. Les molécules entraînées constituent entre les deux pointes une chaîne mobile plus ou moins conductrice et plus ou moins chauffée suivant l'intensité du courant d'une part, la nature et l'éloignement des électrodes d'autre part. Les choses se passent exactement comme si les électrodes étaient réunies par un fil métallique ou une baguette de charbon de faible section; ce qui revient à dire que la lumière produite par l'arc voltaïque et celle obtenue par incandescence proviennent de la même cause, qui est l'échauffement d'un corps résistant intercalé dans le circuit.

Matteucci, célèbre physicien italien, a démontré cette parité entre l'arc voltaïque et les autres parties du circuit électrique, en éloignant lentement deux cônes de fer mis préalablement en contact : un filet de métal liquide apparaissait d'abord, devenait lumineux, puis se brisait pour faire place à l'arc voltaïque.

Parmi les savants qui se sont le plus occupés des propriétés de l'arc voltaïque, nous citerons MM. Wheatstone, de La Rive, Becquerel, Grove, Favre, Quet, Neef, Sillimann, Van Breda, Despretz, Matteucci, Foucault, Fizeau, Tyndall, Le Roux, Cazin, etc., dont nous avons lu la plupart des mémoires. Ces travaux sont plus scientifiques que pratiques : nous nous bornons à les signaler aux personnes qui voudraient faire une étude approfondie de la question avant de se livrer à de nouvelles recherches.

Dans une conférence à la Société d'encouragement, M. Le Roux a très-bien caractérisé le phénomène de transformation qui s'opère dans la production de l'arc et il a insisté sur ce point que le foyer voltaïque n'est formé que d'une véritable vapeur de carbone.

La lumière électrique ne doit, en effet, ses propriétés spéciales qu'à la condensation d'une grande quantité de chaleur dans un espace très-restreint. Cette chaleur est empruntée à la combustion du zinc dans la pile ou au foyer de la machine à vapeur qui met en mouvement l'appareil magnéto-électrique; théoriquement, elle pourrait en différer extrêmement peu; pratiquement, elle n'en est qu'une très-faible partie. C'est que, dans la pratique, il faut tenir compte d'une foule de circonstances dont la théorie n'a pas à se préoccuper. D'ailleurs, la question n'est pas de savoir si nous employons bien tout ce que pourrait produire de chaleur la houille que nous brûlons sous le générateur de vapeur, mais si par quelque autre moyen nous pourrions arriver à condenser une aussi grande quantité de lumière dans un espace aussi restreint, et à ce point de vue l'arc voltaïque laisse bien loin derrière lui tous les autres modes de production.

Condenser la chaleur dans un espace restreint de manière à élever beaucoup la température des corps, tel est le problème de la production de la lumière. Dans la combustion d'un corps, c'est-à-dire dans sa combinaison avec l'oxygène, pour une même quantité du corps brûlée, il se produit toujours la même quantité de chaleur, que l'oxygène soit pris pur ou dans l'air, mais la température s'élève beaucoup moins lorsqu'on emploie l'oxygène de l'air au lieu d'oxygène pur.

L'électricité est le meilleur moyen connu pour condenser la plus grande quantité de chaleur possible en un espace restreint; et c'est, en outre, celui qui donne le plus de faci-

lités pour le transport de cette chaleur en un point donné[1].

La lumière électrique a une grande analogie, quant aux effets produits, avec la lumière du soleil. Elle provoque la combinaison du chlore avec l'hydrogène, elle colore le chlorure d'argent, elle possède la propriété de rendre phosphorescents, c'est-à-dire lumineux dans l'obscurité, les corps qui le deviennent sous l'influence des rayons solaires. Ces précieuses propriétés ont été utilisées dans la photographie et dans diverses industries où l'on a besoin de distinguer les couleurs sous leur véritable aspect pendant le travail de nuit.

En comparant entre elles diverses sources lumineuses, Foucault et Fizeau ont trouvé que la lumière de l'arc voltaïque atteignait la moitié de celle que nous envoie le soleil par un temps très-pur ; tandis que la lumière Drummond est à peine égale à un cent-cinquantième et que l'éclat de la lune ne dépasse pas la trois-cent-millième partie de celui du soleil. Quant au soleil lui-même, il répand sur une surface donnée autant de clarté que 5 774 bougies placées à 0^{m},33 de distance. Les étoiles ne versent sur notre globe qu'une lumière insignifiante ; Sirius, une des plus brillantes, n'a pas un éclat supérieur à la sept-centième partie de celui de la lune; cinq milliards d'étoiles semblables éclaireraient moins que le soleil[2]. Bien que la lumière électrique chauffe infiniment moins une salle que le gaz, à une intensité lumineuse égale, l'arc voltaïque est le siége d'une température extrêmement élevée. Les corps réputés comme les

1. *Les Machines magnéto-électriques françaises*, par F.-P. Le Roux, Gauthier-Villars, 1868, p. 43.

2. Il s'agit ici, bien entendu, du pouvoir émissif par mètre carré du corps éclairant, et non de la lumière totale développée. Arago a trouvé que la lumière solaire était 4 ou 5 fois plus intense que celle de l'arc voltaïque. La différence entre les résultats de Fizeau et Foucault et ceux d'Arago est facile à expliquer par cette simple considération, que si l'on a pu calculer le diamètre du soleil et sa distance à la terre avec une approximation suffi-

plus réfractaires s'y consument avec une rapidité extraordinaire.

Le professeur Tyndall a fait de très-belles expériences publiques sur la chaleur développée par l'arc voltaïque, et pour intéresser davantage son auditoire il rendait invisibles les rayons émis par les pointes de charbon. Pour cela, M. Tyndall concentrait par réflexion, à la surface d'un petit miroir argenté, les rayons du foyer lumineux, et il interposait dans le cône de lumière convergente ainsi obtenu un vase en verre contenant une dissolution opaque d'iode. La lumière du cône se détruisait entièrement, mais les rayons subsistaient toujours et convergeaient à un foyer invisible qui produisait les effets les plus curieux.

Ainsi quand on plaçait dans ce foyer un morceau de papier noir, il était percé par les rayons comme s'il eût été traversé par une tige chauffée à blanc. Le papier s'enflammait instantanément.

Un amas de bois et de copeaux prenait feu dès qu'on les plaçait au foyer. Un cigare s'allumait de suite.

Un morceau de charbon de bois suspendu dans un récipient plein d'oxygène prenait feu au foyer et brûlait avec l'éclat splendide que présente cette substance dans une atmosphère d'oxygène. Les rayons invisibles, après avoir traversé le récipient, conservaient encore assez de force pour échauffer au rouge blanc.

Un mélange d'oxygène et d'hydrogène faisait explosion au foyer obscur rien que par l'échauffement de son enveloppe.

sante, il n'en a pas été de même de la surface éclairante de l'arc voltaïque. Le foyer lumineux ne présente pas la forme sphérique et chaque partie de la surface émet des rayons d'intensité extrêmement variable. La lumière électrique était produite par des piles voltaïques assez puissantes, mais elle n'avait qu'un éclat incomparablement moins grand que celui réalisé avec des machines. Si l'on répétait ces expériences avec les puissantes machines Gramme, on trouverait probablement que l'arc voltaïque a le même pouvoir émissif que le soleil.

Une bande de zinc noircie placée au foyer était percée et enflammée par les rayons invisibles. En faisant passer graduellement la bande à travers le foyer, on pouvait la maintenir brillante pendant un temps considérable avec sa lumière pourpre caractéristique. Cette expérience était d'une beauté particulière.

Un fil de magnésium, présenté convenablement au foyer, brûlait avec un éclat presque intolérable.

Une plaque mince de charbon, placée dans le vide, était portée à l'incandescence par les rayons invisibles.

M. Tyndall a obtenu des effets plus étonnants encore dont la nomenclature complète nous entraînerait trop loin. Nous citerons seulement le plus caractéristique. Avec une pile de force suffisante et une concentration convenable, il a chauffé à blanc une plaque de platine, et celle-ci, vue à travers un prisme, présentait un spectre brillant complet[1].

Tant qu'on n'a pas eu à sa disposition des générateurs mécaniques d'électricité, l'usage de l'arc voltaïque a été limité aux expériences de laboratoires, aux embellissements des fêtes publiques, aux effets scéniques dans les théâtres et à quelques travaux de nuit très-urgents; aujourd'hui, grâce à la découverte de M. Gramme, il commence à entrer dans le service courant d'un grand nombre d'industries et le succès des premières installations fait espérer qu'il se développera très-rapidement.

C'est en 1846, dans *le Prophète,* que la lumière électrique fit son début à l'Opéra de Paris. Il s'agissait de produire un effet de soleil levant. L'illusion était si complète, qu'elle fut saluée par d'unanimes applaudissements, et, depuis cette époque, il est rare qu'un ballet ou un opéra ait été

1. Les expériences si remarquables de M. Tyndall sur les rayons invisibles de la lumière électrique ont été faites à *Royal Institution*, le 27 janvier 1865. Elles sont relatées avec beaucoup de détails et d'explications théoriques dans le journal *les Mondes* du 2 février 1865, p. 249 et suivantes.

monté sans qu'on y ait introduit un effet quelconque de lumière électrique.

L'arc voltaïque n'a pas seulement été appliqué au théâtre pour projeter une vive lumière sur certains points de la scène, pour éclairer des sujets, des décorations, des groupes, etc. Ses rayons intenses ont servi à reproduire des phénomènes physiques et des apparitions fantastiques.

M. Duboscq, chargé du service de l'électricité à l'Opéra depuis 1855, a réalisé une foule de combinaisons ingénieuses. C'est à lui que l'on doit les magnifiques effets de l'arc-en-ciel, des éclairs, des reflets de vitraux éclairés par le soleil, des fontaines lumineuses jaillissantes, etc., etc.

Le plus beau de ces effets, l'*arc-en-ciel,* est obtenu par plusieurs lentilles et un prisme de cristal : les premières lentilles donnent un faisceau parallèle qui passe ensuite par un écran découpé en forme d'arc ; ce faisceau est reçu par une lentille biconvexe à très-court foyer, dont le double rôle est d'augmenter la courbure de l'image et de lui donner une extension plus considérable. C'est au sortir de cette dernière lentille que les rayons lumineux traversent le prisme qui les décompose et engendre l'*arc-en-ciel.*

Au Nouvel-Opéra de Paris on a conservé les piles, car de parti pris l'architecte n'a pas voulu installer un moteur à vapeur dans aucun des locaux de l'édifice et les machines produisant de l'électricité ne peuvent fonctionner sans moteur. A l'Opéra de Vienne, où tout est machiné par la vapeur, on fait usage d'une machine Gramme, qui donne de très-bons résultats.

De l'éclairage des fêtes publiques nous ne dirons rien, cela n'a aucune importance au point de vue industriel, et les expériences imaginées pour cet usage sont trop connues pour qu'il y ait lieu d'insister sur leur peu de valeur, même comme décoration d'une place, d'une avenue ou d'un monument. L'éclairage des travaux de nuit (fig. 2) est beau-

coup plus intéressant. Dans cet ordre d'idées nous ne connaissons rien de plus concluant en faveur de la lumière électrique que le rapport suivant, fait par M. Brüll, aujourd'hui vice-président de la Société des ingénieurs civils :

« La Compagnie des chemins de fer du Nord de l'Espagne..., au commencement du mois d'avril 1862, a fait faire de sérieuses expériences avec les régulateurs de la


Fig. 2. Éclairage à l'électricité d'un chantier de construction.

lumière électrique du système Serrin. Les résultats ayant été satisfaisants, elle a fait l'acquisition de vingt régulateurs que l'on a expédiés dans les montagnes du Guadarrama, avec les piles et les matières nécessaires pour leur alimentation... Les premières installations étaient mises en activité au mois de mars 1862 ; au mois de juillet il y en avait huit, et la lumière a été employée régulièrement jusqu'au 15 octobre. A cette époque, la durée de l'éclairage

s'élevait en total à 3717 heures... Après trois mois d'interruption causée par le froid rigoureux et les intempéries, on a repris au mois de février 1863 les travaux de nuit et l'emploi de la lumière électrique, qui fonctionna continuellement dans dix chantiers jusqu'au 12 juin, époque de l'achèvement des travaux. La durée de l'éclairage dans cette période est de 5700 heures. La durée totale pendant les deux époques est de 9417 heures. La lumière a toujours été belle et régulière; elle éclairait les chantiers avec profusion, sans blesser pourtant les travailleurs par son intensité. On a employé deux genres de réflecteurs, hyperboliques et paraboliques...; les réflecteurs hyperboliques doivent être préférés. La dépense par heure des matières consommées a été de 2f,90 par lampe. L'économie réalisée par l'application de l'éclairage électrique sur les torches est d'environ 60 pour 100. Si l'on considère en outre la gêne causée par la fumée des torches concentrée dans les profondes tranchées remplies de travailleurs, les pertes de temps pour entretenir leur combustion, leur faible clarté, on verra la grande et incontestable supériorité de la lumière électrique. La crainte de produire dans des temps égaux moins de travail pendant la nuit que pendant le jour n'est pas fondée. En été, l'ouvrier n'étant pas accablé par la chaleur du jour, travaille avec plus d'énergie et produit davantage; pendant les nuits froides, il travaille pour se réchauffer; dans aucun cas, le service de nuit n'est inférieur au service de jour.

« L'éclairage électrique a rendu d'importants services aux travaux souterrains des grandes mines du Guadarrama. La profondeur du puits étant de 22 mètres, chaque galerie avait 16 mètres de longueur...; l'air était tellement vicié par l'explosion des pétards et la combustion des lampes des mineurs, que les maçons pouvaient à peine y séjourner pendant quelques instants; les lampes ne brû-

laient plus dans l'intérieur de la mine; allumées à l'orifice du puits, elles s'éteignaient avant d'arriver au fond. Le travail était pressant; je n'avais sous la main aucun moyen de ventilation; je fis descendre un régulateur Serrin dans l'intérieur de la mine... Au bout d'une heure environ, voyant que les maçons ne se plaignaient nullement d'être incommodés et ne demandaient pas à être relevés, je descendis dans la mine et je constatai que l'on y respirait avec autant de facilité qu'en plein air, que les lampes y restaient allumées. Le travail des maçons, éclairés par la lumière électrique, s'est prolongé pendant 112 heures consécutives sans aucun inconvénient. »

Nous pourrions encore citer, parmi les travaux en plein air exécutés à la lumière électrique, ceux du fort Chavagnac à Cherbourg, du chemin de fer du Midi, des réservoirs de Ménilmontant, du bâtiment du ***Moniteur universel,*** et plus récemment ceux des nouveaux bassins du Havre, de l'exposition de 1878 au Trocadéro, de l'avenue de l'Opéra, des Grands Magasins du Louvre, etc., etc.

Dans les chapitres VII et VIII, nous donnerons des détails précis sur un grand nombre d'applications pour l'industrie privée, les phares, la marine et la guerre.

CHAPITRE II.

RÉGULATEURS ÉLECTRIQUES.

Du peu d'utilité des recherches actuelles sur les régulateurs. — Expériences de Deleuil. — Appareil Thomas Wright. — Régulateur Staite et Edwards. — Régulateur Le Molt. — Régulateur Archereau. — Régulateur Lacassagne et Thiers. — Régulateur Gaiffe. — Régulateur Foucault et Duboscq. — Régulateur Way. — Régulateur Hafner Alteneck. — Régulateur Serrin. — Régulateur Girouard. — Régulateur Carré. — Inventions de M. Jablochkoff.

Le succès croissant de l'éclairage électrique dans les établissements industriels a donné une nouvelle impulsion aux recherches des électriciens et beaucoup d'entre eux se sont spécialement attachés à la régularisation de la lumière, c'est-à-dire au problème qui consiste à maintenir constant l'écartement des deux charbons entre lesquels jaillit l'arc voltaïque.

Comme la plupart des inventeurs connaissaient mal la question et ignoraient les travaux antérieurs, presque toutes les recherches n'ont jusqu'à ce jour abouti qu'à des combinaisons anciennes depuis longtemps abandonnées ou à des conceptions originales, mais impraticables. C'est pour éviter le retour de semblables travaux, qui occasionnent toujours des pertes considérables de temps et d'argent, que nous décrirons un assez grand nombre de régulateurs de types différents.

Disons tout d'abord que les recherches actuelles n'ont pas une utilité absolue, car il existe un bon régulateur, celui de M. Serrin. Cet appareil fonctionne avec précision et donne une lumière fixe, à la seule condition d'être garni de bons charbons et alimenté par une source bien constante d'élec-

tricité. Certes, nous ne voulons décourager personne et nous ne dirons pas que le régulateur de M. Serrin est le dernier mot du progrès; mais nous le trouvons si supérieur à tout ce qu'on nous a présenté, que nous engageons les inventeurs à bien l'étudier avant de se torturer l'imagination pour le remplacer. On pourra, peut-être, trouver un appareil un peu plus simple et un peu moins cher, mais on trouvera difficilement quelque chose de mieux compris et de plus facile à employer.

A notre avis, une invention nouvelle, possédât-elle toutes les qualités requises pour les applications les plus variées et aucun des défauts qu'on rencontre si fréquemment dans les régulateurs, ne pourrait avoir qu'une importance secondaire au point de vue de la propagation de l'éclairage électrique, à moins toutefois que son prix de vente ne soit très-réduit et sa construction extrêmement simple.

Jusqu'en 1844, les expériences sur l'arc voltaïque n'eurent aucun résultat utilisable : l'absence de crayons et de piles convenables limitait la durée du phénomène au temps strictement nécessaire pour le faire apprécier dans un cours de physique, mais personne ne songeait à s'en servir pratiquement. A cette époque, Léon Foucault, tout en mettant à profit la pile puissante que venait de combiner Bunsen, eut l'heureuse idée de substituer des baguettes de carbone, prises dans les cornues à gaz, aux baguettes de charbon de bois qu'on employait généralement comme électrodes. Cet habile physicien put dès lors établir une petite lampe très-simple et remplacer le soleil par l'arc voltaïque pour l'obtention d'épreuves photographiques.

Cette première lampe, dont le fonctionnement exigeait la main de l'opérateur, servit à M. Deleuil pour exécuter des expériences d'éclairage électrique, pendant la même année 1844, sur la place de la Concorde, à Paris. (M. Deleuil avait déjà fait des expériences publiques en 1841

avec des charbons ordinaires placés dans un récipient privé d'air.)

En 1845, Thomas Wright, de Londres, imagina de faire jaillir l'arc voltaïque entre des disques de carbone ayant leur circonférence taillée en V et recevant le mouvement d'un mécanisme quelconque. Ce fut là le premier régulateur automatique et l'origine de l'appareil Le Molt, dont nous parlerons plus loin.

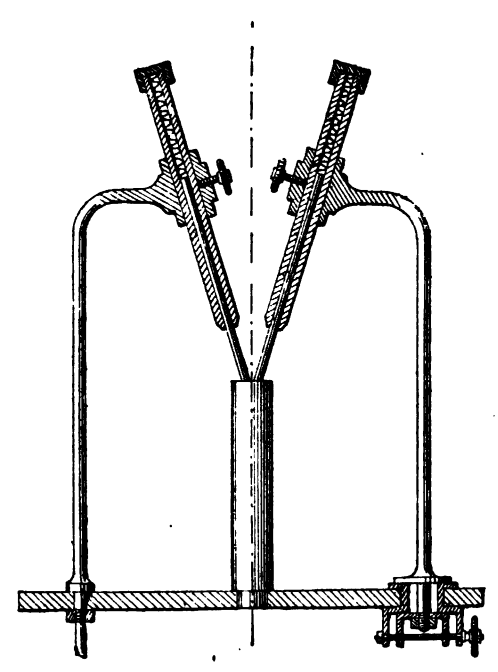


Fig. 3. Régulateur Staite et Edwards.

En 1846, Staite et William Edwards, de Londres, se firent breveter pour plusieurs dispositions originales dont l'une est représentée figure 3. Les deux électrodes de charbon sont renfermées dans des petites gaînes et se rencontrent obliquement sur une substance résistant à la chaleur et non conductrice de l'électricité. Des ressorts ramènent les pointes à leur place au fur et à mesure qu'elles s'usent.

Au moyen d'une coulisse et d'une vis placées à la partie inférieure du bâti, on peut à volonté augmenter ou raccourcir l'écart des charbons et par conséquent faire varier la longueur de l'arc voltaïque.

En 1848, Foucault en France, Staite et Pétrie en Angleterre, imaginèrent de se servir du courant lui-même pour régler l'écartement des charbons en se basant sur ces deux phénomènes : 1° qu'un courant électrique peut faire naître une aimantation dans un fer doux entouré d'un fil de cuivre, laquelle faiblit et disparaît dès que le courant diminue ou devient nul; 2° que l'arc voltaïque étant une portion du conducteur réagit sur le courant en lui conservant une grande partie de son intensité pour un écart déterminé et en l'annulant complétement lorsque l'écart des charbons devient trop grand.

En 1849, Le Molt reprenant l'idée de Thomas Wright, construisit l'appareil que nous représentons figure 4 et qui est ainsi décrit dans le brevet français :

« Comme électrodes produisant la lumière, je brevète l'emploi de toute matière carburée, surtout celle des charbons de cornues, et les deux mouvements combinés de rotation et de rapprochement à des intervalles donnés de deux disques d'épaisseur et de diamètre variables.

« Les rondelles sont maintenues en regard l'une de l'autre dans une situation parallèle, verticale ou horizontale, ou mieux dans une situation à angle droit et convenablement distancées l'une de l'autre pour produire la lumière électrique. Elles tournent d'une manière régulière sur deux axes métalliques mis en relation avec les pôles de l'appareil générateur et elles présentent successivement, par un jeu de rotation et de rapprochement combinés, tous les points extrêmes de leur circonférence à la production et à l'émission de la lumière électrique; de manière qu'à chaque tour ou révolution des disques, ces derniers se rap-

prochent l'un de l'autre à la distance requise dont les avait éloignés la combustion d'une partie du carbone et se replacent ainsi dans la même situation d'invariable écartement; et comme les deux mouvements de rotation et de rapprochement combinés des rondelles électrodes peuvent être obtenus à l'aide de toute espèce de système mécanique, je me bornerai à indiquer dans mon dessin un de ces dispo-

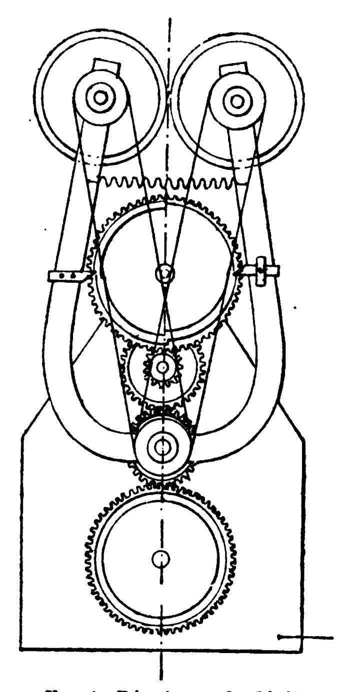


Fig. 4. Régulateur Le Molt.

sitifs, afin de faire comprendre comment la rotation et le rapprochement combinés peuvent s'opérer.

« Je me réserve de purifier la matière carburée formant les électrodes émetteurs de la lumière par des immersions plus ou moins prolongées dans toute espèce d'acides et notamment d'abord dans les acides nitrique et muriatique mélangés et ensuite dans l'acide fluorique. »

Cette disposition est très-intéressante, en ce sens qu'elle permet de fonctionner de vingt à trente heures sans toucher

à la lampe, mais elle donne une lumière moins intense que celle qu'on obtient avec deux tiges verticales de charbon. La Compagnie du chemin de fer du Nord a fait des essais tout récemment avec un appareil analogue et a obtenu d'assez bons résultats.

Les appareils les plus connus, reposant sur l'emploi du magnétisme pour le réglage des charbons, sont ceux d'Archereau, de Lacassagne et Thiers, de Gaiffe, de Foucault et Duboscq, d'Hafner-Alteneck et de Serrin. Bien que les deux premiers ne soient plus en usage aujourd'hui, comme ils sont intéressants, nous en donnerons une description succincte.

Régulateur Archereau.

Le régulateur Archereau, représenté figure 5, est le plus simple de tous. Il se compose d'une bobine creuse en cuivre recouverte d'un fil isolé, d'un montant vertical, de deux porte-charbons et d'un contre-poids. Le charbon supérieur est porté par une tige qui peut glisser et tourner à l'extrémité d'une traverse horizontale de cuivre, isolée et en communication avec le conducteur négatif du courant électrique. Le charbon inférieur repose sur un cylindre moitié en cuivre, moitié en fer, qui peut monter ou descendre dans la bobine creuse. Le conducteur positif est attaché à l'une des extrémités du fil de la bobine et l'autre extrémité de ce fil est fixée au cylindre intérieur de ladite bobine. Le charbon inférieur se trouve en communication directe avec le pôle positif, parce que le cylindre qui le porte touche toujours en plusieurs points à l'âme de la bobine. Un contrepoids équilibre le porte-charbon inférieur, de manière que le mouvement de celui-ci puisse s'effectuer de bas en haut ou de haut en bas, avec un effort insignifiant. (Il suffit pour détruire l'équilibre de vaincre le frottement du cylindre contre la paroi intérieure de la bobine.)

La partie supérieure du cylindre est en fer, la partie inférieure en cuivre. Quand le courant passe dans le fil extérieur, il se produit une action magnétique qui fait descendre le cylindre dans la bobine, et dès que le courant est interrompu, l'action du contre-poids relève le cylindre.

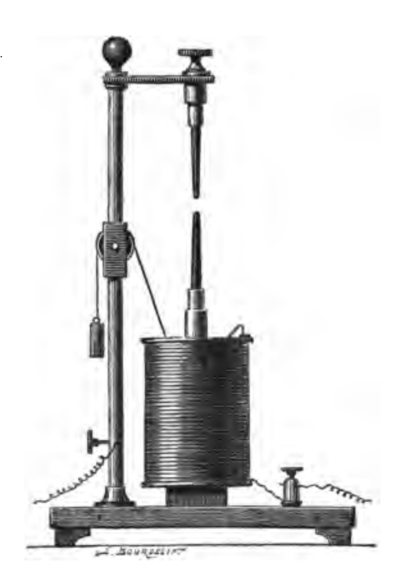


Fig. 5. Régulateur Archereau.

Pour mettre l'appareil en activité, il suffit d'amener le charbon supérieur au contact de l'autre, puis d'éloigner légèrement le premier; l'arc voltaïque jaillit, le cylindre reste fixe dans la bobine et le contre-poids est immobile. Cette situation persiste tant que l'écart des charbons n'est pas trop grand; mais il arrive un moment où l'arc voltaïque dépasse une longueur déterminée et où le courant est trop faible pour faire résister le cylindre à l'action du contre-poids. A ce moment, le cylindre inférieur remonte, puis le courant reprend sa puissance et arrête le cylindre jusqu'à ce qu'une nouvelle usure provoque un nouveau mouvement du charbon inférieur. C'est une simple question

d'équilibre à réaliser par une bonne proportion dans les organes et par la détermination exacte de la position relative de chacun d'eux.

Le régulateur Archereau diffère de ceux de Foucault et de Staite en ce qu'il possède un solénoïde au lieu d'un électro-aimant pour assurer l'écart constant des deux pointes de charbon.

Régulateur Lacassagne et Thiers.

Les régulateurs qui suivirent ceux de Foucault et d'Archereau possédaient tous un mécanisme d'horlogerie chargé de rapprocher les électrodes et un débrayeur électrique chargé d'arrêter le mécanisme en temps utile. MM. Lacassagne et Thiers ayant reconnu divers inconvénients dans l'emploi d'un mouvement d'horlogerie, remplacèrent celui-ci par un flotteur agissant sur un bain de mercure.

Ce régulateur a été breveté en 1855.

Le cylindre récepteur contient un flotteur, que supporte le bain métallique; ce flotteur est surmonté d'une électrode de carbone; il est en rapport avec le conducteur positif, et en regard d'une autre électrode de carbone fixée à la partie supérieure de la tige de la lampe. Le flotteur doit monter toutes les fois que l'écart des pointes en regard augmente par l'effet de la combustion. On comprend de suite que c'est au déplacement du mercure qu'est dû cet effet; mais ce déplacement devant avoir lieu en temps utile, un organe spécial, mis en jeu par le courant électrique lui-même, est chargé de le régler.

Le mercure du réservoir, avant d'arriver dans le cylindre récepteur, traverse par un tube l'une des branches d'un électro-aimant, interposé dans le courant et faisant partie de la lampe; à ce tube est ajustée une petite soupape en

caoutchouc, qu'ouvre et ferme une armature en fer doux, attirée par un ressort antagoniste à l'attraction de l'électro-aimant de la lampe ; l'ouverture de cette soupape permet au mercure d'effectuer son passage, et sa fermeture retient le mercure dans le réservoir. — Toutes les fois que l'écart interpolaire augmente, l'action magnétique diminue, et l'armature cède à l'action du ressort antagoniste (préalablement tendu, plus ou moins, suivant l'intensité du courant) ; la soupape s'ouvre et permet la rentrée du mercure, qui fait alors monter le flotteur, et conséquemment ramener les pointes à leur distance focale ; après quoi, l'attraction magnétique, croissant en raison inverse de cette distance, referme la soupape, *et vice versa.*

La sensibilité de cet organe est telle, que l'armature chargée de livrer passage au mercure dans le récepteur, pour opérer l'ascension de l'électrode que supporte le flotteur, au lieu de se manifester par saccades, s'écarte, sollicitée par deux forces antagonistes qui s'équilibrent constamment de manière à laisser passer un petit jet continu de mercure dans le récepteur, en raison précise de l'usure des charbons dans un temps donné. Les électrodes se rapprochent donc continuellement.

De 1855 à 1859, les inventeurs de cet appareil firent de nombreux éclairages à Paris et à Lyon, mais bien que leur régulateur fonctionnât régulièrement, ils n'eurent qu'un succès de curiosité. Ce résultat, plutôt négatif que favorable, tient à plusieurs causes : d'abord l'emploi de piles, comme générateur du courant électrique, est fertile en inconvénients, puis la nécessité de remettre à chaque instant l'arc voltaïque au foyer du réflecteur (le charbon supérieur s'usant et ne bougeant pas, il est clair que le centre du foyer lumineux variait à chaque instant). D'autre part, l'emploi du mercure en remplacement d'un mécanisme d'horlogerie n'était pas très-heureux en industrie, il créait plus de sujétions

qu'il ne détruisait d'inconvénients. Malgré cela, ces expériences firent grand bruit, et nous avons sous les yeux tout un volume consacré à leur éloge. Nous en détachons les lignes suivantes, qui parurent dans la *Gazette de France*, le 5 juillet 1855, il y a vingt-deux ans.

« Hier, les promeneurs qui se trouvaient à neuf heures du soir dans les environs du château Beaujon ont été tout à coup inondés d'une lumière aussi puissante que celle du soleil. En effet, on eût dit que le soleil venait de se lever, et telle était l'illusion, que des oiseaux, surpris dans leur sommeil, ont voltigé devant ce jour artificiel. Le foyer lumineux partait de la terrasse du château Beaujon, où MM. Lacassagne et Thiers, chimistes lyonnais, démontraient devant une société d'élite, réunie chez M. Théodore Gudin, les avantages de la lumière électrique sortie des langes de la théorie et abordant franchement le domaine du fait accompli. L'expérience a été complète.

« La puissance du foyer lumineux embrassant une vaste surface était si fulgurante, que les dames conviées à l'expérience ont ouvert leurs ombrelles, non pour faire une galanterie aux inventeurs, mais pour se garantir contre les ardeurs de ce mystérieux et nouveau soleil. »

Ces dernières lignes contiennent, en réalité, une des critiques les plus justes qu'on ait jamais adressées à la lumière électrique ; les rayons projetés par un réflecteur éblouissent tellement, en effet, que si l'on n'avait pas réussi à faire de l'éclairage électrique sans réflecteur, jamais l'usage ne s'en fût répandu dans les manufactures.

La puissance du foyer, qu'on comparait alors à un mystérieux soleil, n'était d'ailleurs que de 60 à 80 becs carcel. Qu'aurait donc dit la *Gazette de France* si la lampe Lacassagne et Thiers eût brillé d'un éclat égal à 4500 becs, comme brille aujourd'hui la lampe Serrin alimentée par une seule machine Gramme ?

Régulateur Gaiffe.

Le régulateur de M. Gaiffe est représenté figure 6[1]. La légende suivante fera comprendre le rôle et le fonctionnement de chaque organe.

ABCD est une cage cylindrique renfermant tout le mécanisme. Elle se compose d'une platine circulaire AB, reliée à une embase ou pied tronc-conique CD par quatre tiges ou colonnettes verticales. Une enveloppe F, qui s'enlève par le haut, préserve le tout et se fixe à la platine AB, au moyen de deux vis G placées aux extrémités d'un même diamètre.

H, porte-charbon supérieur formé de deux coquilles entre lesquelles on pince le crayon de graphite. H′, porte-charbon inférieur, disposé comme le précédent.

I, tige cylindrique en cuivre, commandant le porte-charbon H, et se mouvant dans l'intérieur d'une colonne creuse J, fixée verticalement sur la platine AB. Cette tige est terminée à la partie inférieure par une crémaillère, munie d'un retour d'équerre destiné à limiter la course ascendante.

K, tige en fer doux, armée d'une crémaillère et commandant le porte-charbon H′. Cette tige est de forme prismatique quadrangulaire, et descend verticalement dans l'intérieur de la bobine *l*.

l, bobine à axe vertical, portant un fil de cuivre roulé en spirale. Lorsque le circuit électrique est fermé, elle agit sur la tige K, qui descend alors en vertu de l'attraction à laquelle elle est soumise.

O, deux roues dentées, tournant librement sur l'axe N et isolées l'une de l'autre par une rondelle d'ivoire. Les diamètres des roues sont dans le rapport de 2 à 1. La plus grande

1. Nous empruntons cette figure et la description du régulateur Gaiffe à l'excellent ouvrage de M. Louis Figuier, *les Merveilles de la science*, Furne, Jouvet et Ce, éditeurs, t. IV, p. 225. Les figures 2 et 17 sont également empruntées au même ouvrage.

engrenant avec la crémaillère de la tige I, dont elle commande le mouvement, et la plus petite engrenant avec la crémaillère de la tige K, il s'ensuit que lorsque la tige K s'élève ou s'abaisse d'une certaine quantité, la tige I s'abaisse ou s'élève d'une quantité double. Cette disposition est nécessitée par l'usure inégale des deux charbons qui se fait, avec la pile, dans la proportion de 2 à 1.

Un barillet, solidaire des roues O, contient un ressort de pendule, dont l'une des extrémités est fixée au barillet lui-même et l'autre à l'axe N ; le ressort, agissant sur le barillet et par conséquent sur les roues dentées, tend constamment à faire rapprocher les tiges I, K, et par suite, les charbons.

N, axe d'acier, sur lequel les roues O et le barillet sont librement montés. Cet axe est serré entre les coussinets, qui permettent cependant de le faire tourner sur lui-même pour régler la tension du ressort du barillet ; pour cela, on n'a qu'à agir au moyen d'une clef sur son extrémité libre, qui est faite comme un carré de remontoir.

Une embase circulaire recouvre la bobine *l*. Sur cette bobine, qui est percée au centre pour laisser passer la tige K, sont montées les pièces principales du mécanisme. Les pignons R sont montés sur un axe parallèle à l'axe N, et ils peuvent se déplacer parallèlement à eux-mêmes pour venir commander les roues O, et par conséquent agir sur les tiges I, K, pour abaisser ou élever à volonté et simultanément les deux charbons dans les expériences d'optique où il est important de centrer le point lumineux sans interrompre la fonction de l'appareil.

Une clef à trou carré se place sur l'axe N, ou sur l'axe des pignons R, lorsqu'on veut agir sur le ressort du barillet, ou lorsqu'on veut mettre les pignons en prise avec les roues O.

Un ressort à boudin placé sur l'axe des pignons R sert à repousser ces pignons hors de prise, lorsqu'on n'agit plus sur eux.

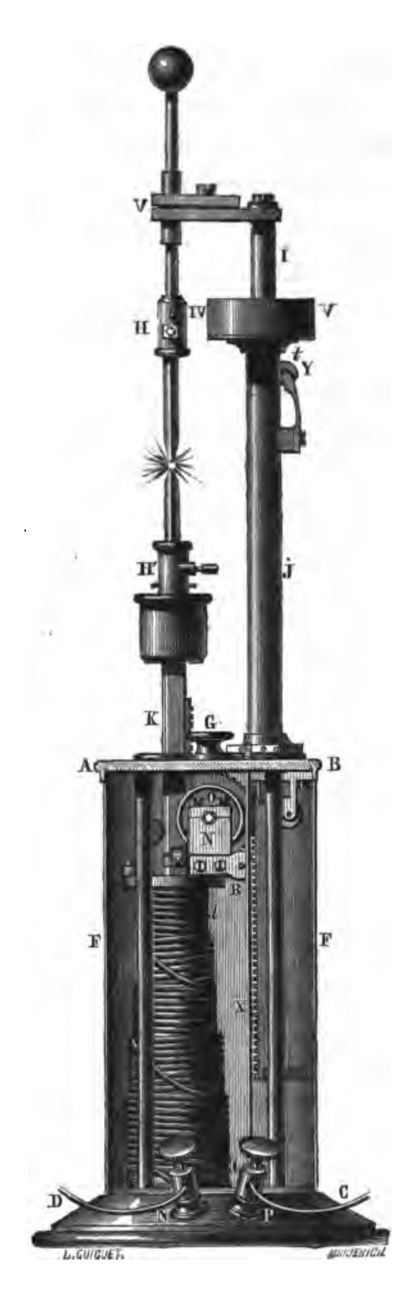


Fig. 6. Régulateur Gaiffe.

Des galets servent à guider les tiges I, K, et rendent leur mouvement très-doux.

V est une pince à genouillère, permettant d'agir directement sur le porte-charbon H, de manière à mettre les deux pointes de charbon bien exactement en face l'une de l'autre.

N est la borne pour le fil négatif du courant électrique.

P est la borne pour le fil positif du courant électrique.

X est une tige verticale qui conduit le courant de la borne P à la colonne J.

Y est un galet pénétrant par une ouverture dans la colonne J, et maintenu constamment en contact avec la tige I au moyen d'un ressort, de manière à assurer la communication entre cette colonne et cette tige.

Les bornes N, P, la tige X et la colonne J sont isolées au moyen de rondelles en caoutchouc.

Voici comment marche le courant dans ces différentes pièces :

Entrant par la borne P, il suit le chemin XJIVHH'K, passe dans la bobine *l* et sort par la borne N. Quand il ne circule pas, les deux charbons sont maintenus l'un contre l'autre par l'action du ressort du barillet; mais aussitôt que le circuit électrique est fermé, la bobine attire la tige K, dont le mouvement, combiné avec celui de l'autre tige J, détermine l'écart du charbon et la production de l'arc voltaïque.

Pour que ces phénomènes se produisent, il faut que la force attractive de la bobine l'emporte un peu sur l'action du ressort antagoniste du barillet, ce que l'on obtient en tendant plus ou moins celui-ci.

Lorsque le ressort est trop tendu, les deux charbons restent serrés l'un contre l'autre ou sont trop rapprochés pour produire une lumière d'une intensité suffisante; si, au contraire, il n'est pas assez tendu, l'action de la bobine devient trop prédominante, et par suite, l'écart des charbons étant trop grand, l'arc voltaïque se rompt.

Régulateur Foucault et Duboscq.

Le régulateur Foucault, exécuté et perfectionné par M. Duboscq, jouit d'une grande réputation : c'est celui que nous préférons après l'appareil de M. Serrin. Nous le représentons, en coupe longitudinale, figure 7.

L'électro-aimant est placé dans la partie inférieure de l'appareil. Comme tous les électro-aimants, il se compose d'une bobine sur laquelle est enroulé un long fil de cuivre. En parcourant ce fil, le courant aimante un cylindre en fer formant l'âme de la bobine, et celui-ci attire une plaque de même métal vissée à l'extrémité d'un levier coudé. Un ressort à boudin parallèle à l'électro-aimant équilibre l'attraction magnétique, de sorte que le contact ne s'opère que lorsque le courant a une énergie déterminée. Le ressort antagoniste est, comme on le voit, fixé par l'une de ses extrémités à une petite équerre oscillante qui permet de le tendre plus ou moins, et par suite de rendre la lampe plus ou moins sensible.

Au-dessus de l'électro-aimant se trouve une boîte cubique renfermant un mouvement d'horlogerie actionnant, lorsqu'il se meut, les tiges des deux porte-charbons, lesquelles sont taillées en crémaillère et engrènent avec des roues de diamètres différents, comme dans la lampe précédente. Une tige oscillante réunit l'armature à ce mécanisme d'horlogerie et vient embrayer les ailettes d'un moulinet, lequel arrête le mouvement de toutes les pièces lorsque l'arc voltaïque n'est ni trop grand ni trop petit, c'est-à-dire lorsque le courant passe régulièrement dans l'appareil. Dès que l'arc a pris une trop grande longueur, par suite de l'usure des crayons, sa résistance augmente, l'armature est attirée contre l'électro-aimant, la tige du débrayage oscille et laisse fonctionner le moulinet.

Dans l'appareil primitif de M. Duboscq, il fallait écarter à la main les charbons pour régler leur position et leur distance ; Foucault a ajouté un deuxième mécanisme d'horlogerie qui sert de moteur pour éloigner les charbons l'un de l'autre lorsque cela est nécessaire.

Ce mécanisme auxiliaire agit, comme le premier, sur les roues qui engrènent avec les tiges dentées des porte-charbons; seulement son mouvement est inverse.

Il y a donc dans ce régulateur deux moteurs distincts, l'un éloignant les crayons lorsqu'ils sont trop rapprochés, l'autre rapprochant les crayons lorsqu'ils sont trop éloignés. La difficulté, qui était de réaliser l'indépendance de ces deux moteurs et de les faire agir inversement sur les mêmes roues dentées, a été levée de la manière la plus heureuse par l'emploi d'une roue à satellites. La tige qui réunit l'électro-aimant aux deux mécanismes oscille à droite ou à gauche et débraye chacun des moulinets en temps utile; lorsqu'elle est verticale, les deux moulinets sont calés et aucun mouvement ne se produit.

Les ressorts doivent, bien entendu, être montés avant chaque opération.

On peut, avec la lampe Foucault-Duboscq, exhausser ou abaisser le point lumineux pendant la marche, en faisant tourner à la main une des roues dentées du barillet principal. Cette opération est quelquefois nécessaire lorsqu'on fait des projections scientifiques ; dans l'éclairage industriel elle est sans utilité pratique.

En somme, cet appareil est très-ingénieusement combiné, et il possède l'avantage de pouvoir fonctionner dans toutes les positions ,mais il est un peu délicat, a besoin d'être réglé pour chaque application spéciale, et est un peu plus susceptible de dérangements que celui de M. Serrin. Son usage est très-répandu dans les laboratoires et dans les théâtres.

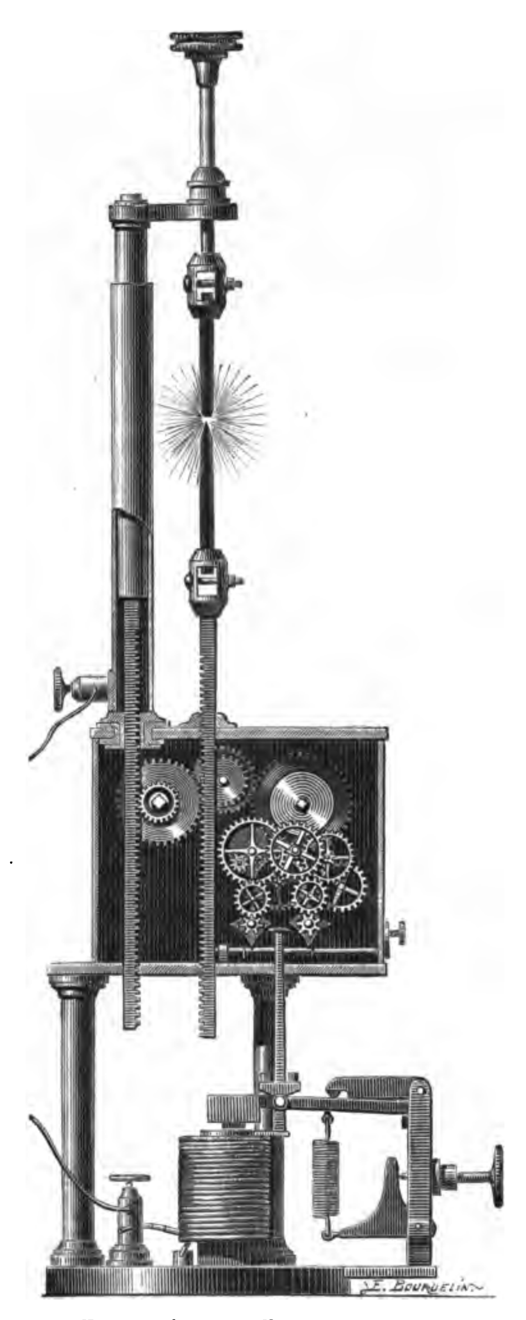


FIG. 7. Régulateur Foucault et Duboscq.

Régulateur Way.

Le régulateur inventé en 1856 par le professeur anglais Way reposait sur un principe essentiellement différent de celui de Foucault. Dans cet appareil, les charbons étaient remplacés par un mince filet de mercure sortant d'un petit entonnoir et reçu dans une cuvette en fer renfermant aussi du mercure.

Les deux pôles du générateur électrique étaient mis en communication l'un avec l'entonnoir, l'autre avec la cuvette, et il se produisait entre les globules successifs de la veine discontinue une série d'arcs voltaïques, comme il s'en produit entre les pointes de charbons, et l'on obtenait ainsi un foyer éclatant assez régulier. La veine liquide lumineuse était placée au sein d'un manchon de verre d'assez petit diamètre pour s'échauffer de manière à ne pas condenser la vapeur de mercure sur ses parois; et comme la combustion se faisait hors du contact de l'oxygène, le mercure n'était pas oxydé.

M. Way a modifié cette première disposition et a obtenu une meilleure lumière en employant : 1° deux électrodes à écoulement au lieu d'une, telles que deux courants de mercure reliés chacun avec un des pôles de la pile et sortant de deux jets en terre de pipe; ces courants se rencontraient en un point et s'écoulaient en gouttes; 2° en formant et brisant très-rapidement le courant électrique continuellement au moyen d'un petit moteur mû par la pile et actionnant une pompe à mercure.

Malgré toutes les précautions prises, l'appareil laissait échapper des vapeurs mercurielles très-dangereuses qui finirent par tuer l'inventeur. La lumière produite par ce moyen n'était d'ailleurs pas très-intense; elle n'atteignait guère que le tiers de celle engendrée avec le même courant électrique entre deux pointes de charbon.

Régulateur Hafner-Alteneck.

On emploie beaucoup en Prusse le régulateur Hafner-Alteneck construit par MM. Siemens et Halske, de Berlin.

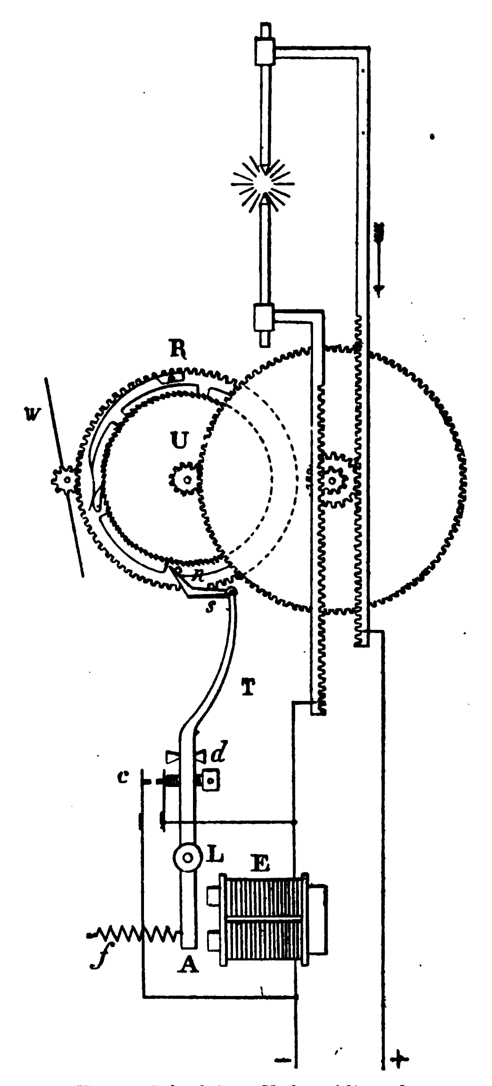


Fig. 8. Régulateur Hafner-Alteneck.

La position des charbons dans cet appareil (fig. 8) est réglée, comme dans l'appareil Serrin, par le poids du porte-

charbon supérieur, lequel tend à rapprocher les crayons au fur et à mésure qu'ils s'usent, tandis que le courant électrique actionnant un petit moteur électro-magnétique les écarte.

Le support supérieur, qui peut se mouvoir librement de haut en bas, est relié au porte-charbon inférieur par l'intermédiaire d'une crémaillère et d'une roue dentée.

Lorsque le rapprochement des deux pôles de charbon augmente trop l'intensité du courant, l'électro-aimant en fer à cheval E attire l'armature A maintenue par le ressort *f*, à tension variable; ce dernier fait appuyer la tige T mobile autour de l'axe L, contre l'arrêt *d*.

Lorsque l'électro-aimant, surmontant l'effort du ressort a attiré l'armature, il s'établit un contact en *c*; aussitôt le courant cesse de traverser les fils du moteur, l'armature reprend sa position initiale et les courants redeviennent directs.

Les oscillations de la tige T communiquent, au moyen d'un petit cliquet *s*, un mouvement de rotation à la roue U à fine dentelure, qui, par l'intermédiaire d'engrenages et de crémaillères, écarte les charbons.

Un point fixe *n*, contre lequel vient buter le rochet, lorsque l'armature reprend sa position normale, oblige celui-ci à quitter les dents de la roue à rochet et à rendre libres les mouvements des crémaillères.

La vitesse de rapprochement des crayons est réglée par un volant à ailettes W, mis en mouvement par l'engrenage R, commandé par un cliquet qui n'est entraîné par la roue U qu'au moment où le cliquet *s* s'en sépare.

Lorsque ce régulateur doit servir avec un appareil à courants alternatifs, le moteur E fonctionne de la même manière, avec cette différence que les oscillations de l'armature se produisent, sans le concours du contact *c*, par le seul changement des pôles. Pour obtenir une longueur

constante de l'arc lumineux, la vitesse de rapprochement des charbons doit être rendue proportionnelle à leur usure, qui varie dans le rapport de 1 à 2, suivant que le courant est alternatif ou continu. Un bouton placé à l'extérieur de la lampe permet de faire engrener les crémaillères avec un même pignon ou bien avec deux roues dentées dont les diamètres sont dans le rapport de 1 à 2.

Ce nouveau régulateur, abstraction faite de son emploi pour courants continus et pour courants alternatifs, se distingue par la régularité de son fonctionnement. Cette précision est obtenue principalement par l'emploi d'un seul point d'appui pour l'armature, au lieu de deux, correspondant chacun à la période d'attraction et à la période de relâchement. De plus, il n'entre dans sa construction aucun mouvement d'horlogerie nécessitant des remontages réguliers; le contact qui remplace ce mécanisme n'a pas besoin d'être nettoyé fréquemment parce qu'il ne s'y produit que de faibles étincelles.

Régulateur Serrin.

Pour faire naître la lumière électrique, entre les deux charbons de la lampe ou régulateur, il faut d'abord amener les pointes au contact, afin que le courant électrique s'établisse; il faut les reporter ensuite à une petite distance l'une de l'autre, pour que l'arc électrique puisse se développer; enfin, il faut qu'elles se rapprochent constamment à mesure qu'elles s'usent par la combustion ou le transport électrique, de telle sorte que le foyer de lumière occupe toujours le même point de l'espace.

Le régulateur de M. Serrin satisfait complétement à ces trois conditions. Il laisse les charbons en contact quand le courant ne circule pas; il les écarte à distance voulue quand le courant est établi; il les rapproche ensuite incessam-

ment sans les laisser arriver au contact. Si, par une cause accidentelle, les charbons se brisent ou s'éloignent trop, ils sont automatiquement ramenés, après un contact d'un instant, à la distance qui doit les séparer pour que l'arc voltaïque se développe dans tout son éclat.

D'autres régulateurs remplissent les mêmes fonctions; mais c'est celui de Serrin qui les remplit avec le plus de précision, de délicatesse, si nous pouvons nous exprimer ainsi, et le moins d'inconvénients.

L'appareil est représenté figure 9. Il se compose d'un électro-aimant A, d'une tige B servant de moteur, d'une tige C supportant le charbon négatif, d'une armature D, d'un butoir E, d'une attache F, d'une vis à excentrique G, d'un support de charbon positif H, d'une entretoise fixe I, d'une entretoise à rallonge J, d'un levier de tension KL, d'un double parallélogramme MNPQ, d'un mouvement d'horlogerie O, d'une vis de réglage inférieure R, d'une vis de réglage supérieure S, d'une vis de jonction T, d'une borne d'ivoire V, servant à arrêter le mouvement de la lampe, d'une enveloppe en cuivre et d'une série de détails accessoires.

Les charbons sont fixés au moyen de vis de pression dans deux porte-charbons. Le charbon positif est maintenu au-dessus du charbon négatif au moyen d'une tige cylindrique massive munie, à la partie supérieure, de deux traverses horizontales reliées au porte-charbon. La traverse ou entretoise supérieure permet, au moyen d'un bouton fileté, d'imprimer au porte-charbon un déplacement dans un plan parallèle au plan du dessin. La traverse inférieure, au moyen d'un excentrique commandé par le bouton G, déplace le charbon dans un plan vertical perpendiculaire au plan de la figure. La combinaison de ces deux mouvements rectangulaires entre eux donne le moyen d'amener rigoureusement en présence les deux pointes de

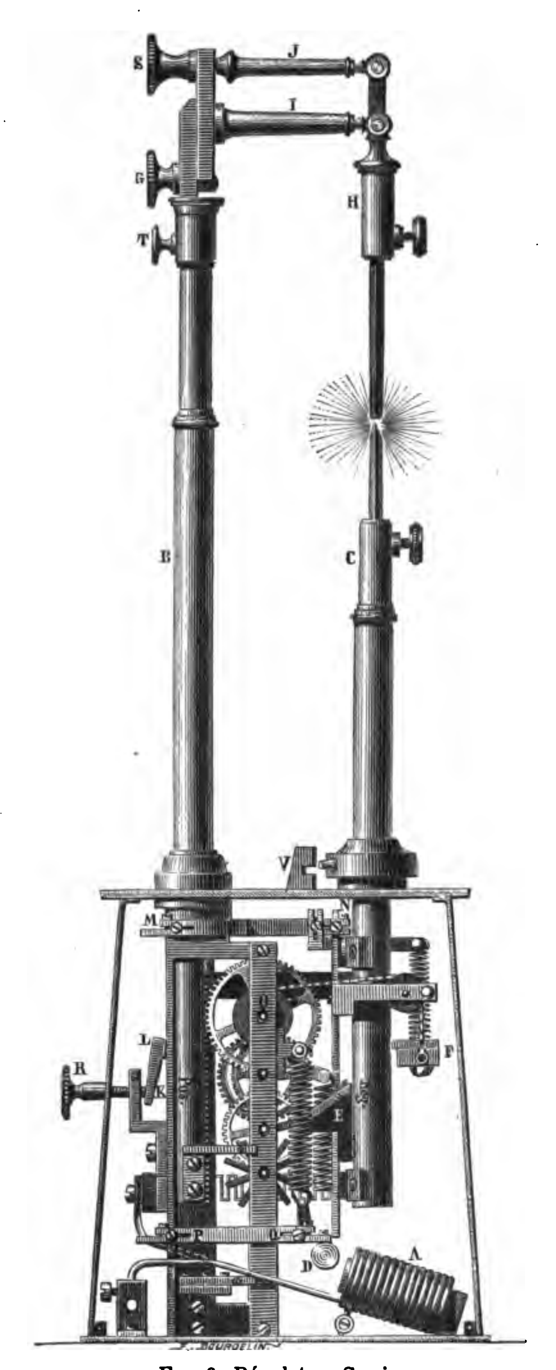


Fig. 9. Régulateur Serrin.

charbon. C'est entre elles que jaillit l'arc voltaïque constamment maintenu à la hauteur d'une petite gorge circulaire ménagée sur la tige massive du porte-charbon positif.

Quant au porte-charbon négatif, placé au-dessous de l'autre, il est introduit dans un tube creux, d'où on peut le retirer pour le débarrasser des fragments de charbon qui s'y rompraient accidentellement. Une vis de pression maintient le charbon dans sa gaîne.

Voyons maintenant comment va se produire le rapprochement des pointes et ensuite le maintien de l'écart convenable.

1° *Rapprochement.* — La tige massive du porte-charbon positif tend à descendre verticalement sous l'action de la pesanteur. Elle est, sur sa partie inférieure, taillée en crémaillère et, pendant la descente, engrène avec une roue dentée O qui communique le mouvement au système d'engrenages figuré. Sur l'arbre O de la première roue dentée est calée une poulie de diamètre moitié moindre que la roue. Cette poulie suit le mouvement et le transmet, au moyen d'une chaîne à la Vaucanson, à une petite poulie de renvoi : la chaîne vient se fixer à une pièce en saillie F rattachée au tube du porte-charbon négatif. Par suite des dimensions et de la disposition de la première poulie, le porte-charbon positif se déplace de bas en haut d'une quantité sensiblement moitié de celle dont descend le porte-charbon positif. On compense donc ainsi la différence de l'usure qui, pour le charbon négatif, est à peu près moitié de celle du charbon positif.

La descente du charbon positif est régularisée au moyen du système d'engrenages qui se termine par un pignon commandant à la fois un régulateur à ailettes et un petit volant étoilé dont nous verrons plus tard le rôle important.

Lorsqu'on veut renouveler les charbons, on soulève de

bas en haut la tige massive du porte-charbon positif : cette opération entraîne la descente du tube du porte-charbon négatif sous l'influence de son propre poids, et elle ne détermine aucun mouvement des engrenages, parce qu'un encliquetage placé sur l'arbre de la seconde roue maintient le système au repos.

2° ***Établissement et maintien de l'écart convenable entre les pointes.*** — Ce résultat est obtenu au moyen du double parallélogramme articulé MNPQ, de l'armature de fer doux D, et de l'électro-aimant A.

Dans le parallélogramme, le côté vertical MQ, voisin du porte-charbon positif, est fixe ; deux côtés, MN, PQ, peuvent s'écarter de la direction horizontale ; le troisième côté NP est vertical et les extrémités inférieures de ces côtés verticaux mobiles sont reliées par une armature en fer doux D.

L'influence de la pesanteur sur le parallélogramme articulé est contre-balancée au moyen de deux ressorts en spirale. L'un s'attache, d'une part, au côté horizontal inférieur et, d'autre part, à une saillie d'une pièce fixe ; l'autre, relié en bas au côté vertical mobile du parallélogramme, est fixé, d'autre part, à l'extrémité d'un levier coudé LK, qu'une vis extérieure R permet de lever plus ou moins.

L'armature de fer doux D, placée en regard de l'électro-aimant A, sera attirée par ce dernier lors de la fermeture du circuit, et l'intensité de cette attraction variera avec l'énergie du courant.

Le fil positif de la machine, serré dans une borne, est mis en communication avec la masse de l'appareil, et le courant électrique, passant du charbon supérieur (positif) au charbon inférieur (négatif), par l'arc voltaïque, va du porte-charbon inférieur, en traversant le conducteur isolé S, à l'électro-aimant, et sort de l'appareil par une borne isolée, à laquelle est fixé le fil négatif.

On voit sur le dessin que le tube du porte-charbon né-

gatif est relié au côté vertical mobile du parallélogramme. Celui-ci est soumis à deux efforts qui se contre-balancent : son poids qui tend à le faire osciller autour de l'arête fixe et les ressorts qui tendent à le relever. L'action de l'électro-aimant consiste à triompher à un moment donné de la puissance des ressorts et en attirant l'armature de fer doux à faire descendre le parallélogramme. Lorsque le courant de l'électro-aimant s'affaiblit, les ressorts l'emportent à leur tour et relèvent le parallélogramme.

Il est facile de se rendre compte que dans le premier cas le charbon négatif descend et qu'il remonte dans le second. En effet, le côté vertical mobile du parallélogramme porte une équerre E, dont la pointe peut, en s'abaissant, pénétrer entre les bras du moulinet, enrayer le mouvement des engrenages et par suite de la crémaillère. L'abaissement du parallélogramme engage l'équerre, tandis que le relèvement la dégage ; et, par suite, la crémaillère est arrêtée dans le premier cas, tandis qu'elle est libre de descendre dans le second en provoquant l'ascension du charbon négatif.

Le bouton R agit par le levier LK sur un ressort qui sert à régler l'appareil de la manière suivante. Lorsque la lumière jaillit entre les deux pointes de charbon, il existe un écart (un seul suivant l'intensité du courant) pour lequel le pouvoir éclairant est maximum. A cet écart correspond une position du parallélogramme oscillant relié aux actions des ressorts et de l'électro-aimant. En faisant varier au moyen du levier la tension du ressort et la distance de l'armature à l'électro-aimant, on peut arriver promptement à fixer la position convenable du parallélogramme et à maintenir la distance des pointes dans les conditions les plus favorables.

Il nous reste maintenant à voir comment on opère dans la pratique.

Nous supposons que les charbons aient été placés sans que le courant passe encore dans l'appareil. Le mouvement de

descente de la tige massive détermine le mouvement ascensionnel du charbon négatif jusqu'à ce qu'il y ait contact. A partir de ce moment, les deux tiges descendent ensemble, mais comme la tige du porte-charbon négatif est reliée au côté vertical mobile du parallélogramme, elle fait abaisser le parallélogramme, l'équerre enraye le petit moulinet et tout le mécanisme est immobilisé.

Dès que le courant est envoyé dans l'appareil, l'électro-aimant devenu actif attire l'armature, entraîne le parallélogramme oscillant et par suite le charbon inférieur, dont la pointe s'écarte à une petite distance de celle du charbon supérieur : l'arc voltaïque apparaît et relie les deux pointes. A mesure que le courant devient moins énergique par suite de l'usure et de l'écartement des pointes, l'électro-aimant devient moins puissant, l'action des ressorts l'emporte, l'armature s'éloigne de l'électro-aimant, le parallélogramme oscillant remonte. Par suite de ce mouvement incessant du parallélogramme, qui tantôt descend entraîné par l'armature, tantôt remonte sous l'action des ressorts, le moulinet se trouve alternativement engagé et dégagé ; la crémaillère, par suite, passe par des alternatives de descente et d'arrêt, et le mécanisme de rapprochement fonctionne en maintenant constamment les charbons dans les limites voulues.

L'avantage que présente le régulateur Serrin sur les autres, tient surtout à ce que son moteur est assez puissant pour lui assurer une marche certaine, en détruisant les petites résistances anormales qui se présentent, sans que, malgré cette puissance, il puisse écraser les pointes de charbon l'une contre l'autre ou leur permettre de glisser parallèlement. Dès que la tige inférieure descend un peu, elle embraye immédiatement le moulinet et soustrait ainsi les charbons en contact à l'action du poids de la tige supérieure. Il suffit de tendre convenablement le ressort équili-

brant le porte-charbon inférieur pour donner au mouvement toute la douceur qu'on désire obtenir.

Aucun autre régulateur ne possède la propriété d'avoir un moteur très-puissant et très-docile, à un degré égal, ce qui ne veut pas dire cependant que l'appareil de M. Serrin soit sans défaut; il a, comme toute chose humaine, des imperfections, et, bien que ces imperfections soient légères, il est utile de les signaler.

Tous les mouvements produits par l'électro-aimant sur son armature sont directement transmis au porte-charbon inférieur, lequel oscille sans cesse lorsque les charbons contiennent des impuretés. Ces oscillations augmentent ou diminuent alternativement la longueur de l'arc voltaïque, et par suite sa résistance. Le courant change alors d'intensité à chaque instant et réagit sur la machine motrice et sur l'électro-aimant, lesquels multiplient les oscillations premières et donnent souvent à la lumière une instabilité très-désagréable. Ajoutons que l'appareil ne peut pas fonctionner horizontalement, ni prendre une trop forte inclinaison, que ses organes sont un peu délicats pour l'usage des ateliers de construction, et nous aurons énuméré tous ses petits inconvénients. Malgré cela, nous répétons que son service normal est satisfaisant et qu'il suffit de prendre quelques précautions pour n'éprouver aucun désagrément sérieux. Avec des charbons chimiquement purs et une source d'électricité bien constante, on peut rendre presque nulles les amplitudes de l'armature de l'électro-aimant et obtenir une lumière aussi fixe que celle d'une lampe à huile ou d'un bec de gaz bien réglé.

Régulateur Girouard.

Au commencement de l'année 1876, M. Girouard présenta à l'Institut une lampe électrique d'un caractère tout particu-

lier. Contrairement aux combinaisons précédentes, la nouvelle lampe est divisée en deux parties distinctes : 1° la lampe proprement dite, avec mouvement d'horlogerie pour le rapprochement et l'écartement des charbons ; 2° le régulateur en forme de relais, qui peut être placé très-loin de la lampe, et qui fonctionne au moyen d'une petite pile portative à sulfate de mercure.

Ce système comporte donc deux appareils, reliés par deux circuits différents, donnant passage à deux courants distincts. L'un des courants est très-intense ; il émane de la machine et donne naissance à la lumière électrique après avoir passé par un électro-aimant fixé sur le relais ; l'autre, assez faible, n'a à produire que des déclanchements de mouvements d'horlogerie pour l'avancement et le recul des charbons.

La lampe contient deux mouvements d'horlogerie commandés par un barillet unique. Le dernier mobile de chacun de ces mouvements est embrayé par une détente dépendant d'un système électro-magnétique particulier, qui correspond électriquement avec deux petits contacts du relais.

Ce système peut fonctionner dans toutes les positions ; il est apte par conséquent à être appliqué, dans bien des cas, aux représentations théâtrales, aux recherches marines, à la projection des expériences de physique, etc., etc. Dans l'industrie ordinaire, il n'offre pas d'avantages suffisants pour contre-balancèr la complication occasionnée par l'emploi de la pile et du mécanisme secondaire du relais.

Régulateur Carré.

M. Carré a fait breveter en 1875 un régulateur électrique à mouvement d'horlogerie, ayant, comme celui de M. Serrin, la tige du charbon positif pour moteur. Au lieu d'un électro-aimant, M. Carré fait usage d'un solénoïde

double d'une forme toute particulière. L'armature de ce solénoïde est en S; elle oscille en son milieu autour d'un point fixe et pénètre par chacune de ses extrémités (lorsque le courant passe) dans une bobine courbe.

L'enroulement du fil sur les bobines du solénoïde est fait de telle sorte que les actions des bobines s'ajoutent et entraînent l'armature dans le même sens.

Lorsque le courant ne passe pas, l'armature rétrograde par l'effet de deux ressorts antagonistes, un rochet dégage le moulinet du mécanisme et les charbons arrivent en contact. Dès que le courant traverse l'appareil, l'armature est aspirée dans le solénoïde et produit l'écart des charbons.

L'attraction de l'armature augmente assez régulièrement, en proportion directe de son engagement dans les bobines, pourvu toutefois que la course ne dépasse pas certaines limites.

Nous avons essayé un régulateur de ce système et nous avons été satisfait de son fonctionnement; seulement l'appareil qui servait à nos essais, quoique très-soigné (il sortait des ateliers de M. Bréguet), était fait plutôt en vue d'expériences de laboratoire que pour l'éclairage industriel.

Quelques changements dans les porte-charbons, une étude plus approfondie des organes extérieurs et du mouvement lui-même, sans aucun changement au principe, rendront cet appareil tout à fait pratique et lui permettront de rivaliser avec celui de M. Serrin. C'est déjà un très-bon instrument de physique, il reste à en faire un bon outil d'atelier.

Éclairage électrique sans régulateur.

M. Jablochkoff, ancien officier du génie de l'armée russe, a fait breveter, en mars 1876, pour la production de

l'arc voltaïque, une nouvelle disposition d'électrodes qui supprime complétement le régulateur.

Cette invention a été présentée à l'Académie des sciences par M. Denayrouze, le 30 octobre 1876.

Les charbons, au lieu d'être en opposition, sont placés l'un à côté de l'autre et n'ont pour toute séparation qu'une substance isolante fusible, telle que la porcelaine par exemple. Lorsque le courant électrique commence à passer, l'arc voltaïque jaillit entre les extrémités des charbons. La couche la plus voisine de matière isolante fond, se volatilise et déchausse lentement la double baguette de charbon, absolument, dit M. Denayrouze, comme la cire d'une bougie découvre progressivement sa mèche unique à mesure que la combustion se propage de haut en bas.

La bougie de M. Jablochkoff jouit de propriétés toutes spéciales.

La chaleur de la combustion des charbons, perdue dans l'air avec les régulateurs, est utilisée avec la bougie pour la fusion et la volatilisation du mélange isolant. La composition de celui-ci peut varier à l'infini, car on peut employer la plupart des substances terreuses. Les matières réputées les plus infusibles se volatilisent lorsqu'on les introduit dans l'arc voltaïque.

En septembre 1876, M. Jablochkoff, dans une addition à son brevet, signale la possibilité d'obtenir des colorations diverses en introduisant dans l'isolant des charbons des oxydes métalliques.

En octobre, une deuxième addition indique les éléments d'un système d'éclairage comprenant un nombre quelconque de points lumineux, et le moyen d'allumer et de faire brûler indépendamment les uns des autres, par l'emploi d'une pile secondaire, les divers foyers de ce système.

Vers la fin du même mois, M. Jablochkoff dit, dans une nouvelle addition, qu'au lieu de séparer les charbons par des

corps compactes, il est préférable d'employer des poudres plus ou moins fixes : « On entoure d'abord les charbons d'une cartouche dont la partie extérieure est constituée par du carton d'amiante, puis on sépare les charbons des cartouches et les cartouches l'une de l'autre en versant ladite poudre. L'arc voltaïque en jaillissant brûle tout. »

En novembre, l'inventeur signale un nouveau perfectionnement, qui consiste à supprimer les baguettes de carbone et à les remplacer par des tubes remplis d'une substance analogue à celle de l'isolation.

Enfin, pour nous en tenir aux perfectionnements de 1876 relatifs aux lampes, le 30 novembre M. Jablochkoff prend un nouveau brevet principal pour un système permettant d'obtenir, avec le circuit d'une source unique, autant de foyers lumineux qu'on le désire. Ce système est basé sur l'emploi de bobines d'induction renfermant à l'intérieur d'autres bobines induites par les premières et mises en contact avec les deux pôles du foyer lumineux à produire.

Nous espérons que les travaux si intéressants de M. Jablochkoff aboutiront à un résultat pratique et qu'ils auront pour conséquence d'accroître notablement le domaine de l'éclairage à l'électricité.

CHAPITRE III.

CHARBONS ÉLECTRIQUES.

Baguettes en charbon de bois. — Charbon de cornue. — Ses inconvénients. — Charbon Staite et Edwards. — Charbon Le Molt. — Charbon Lacassagne et Thiers. — Charbon Curmer. — Charbon Jacquelain. — Charbon Peyret. — Charbon Archereau. — Expériences de M. Carré. — Ses procédés de fabrication. Expériences de M. Gaudoin. — Ses procédés de fabrication. — Essais comparatifs de diverses sortes de charbons.

Dans ses expériences sur l'arc voltaïque, Davy se servait de baguettes de charbon de bois éteint dans l'eau ou dans le mercure. Ces baguettes brûlaient avec un bel éclat et d'une manière très-régulière, mais elles s'usaient si rapidement, que leur usage était forcément réservé aux expériences de laboratoire. En remplaçant le charbon de bois par les dépôts recueillis sur les parois des cornues à gaz, Foucault ouvrit réellement à l'arc voltaïque l'ère des applications utiles. Le charbon de cornue est, en effet, beaucoup plus dense et résiste bien plus longtemps à l'action destructive du foyer électrique.

Mais, comme l'a fait observer avec raison M. Le Roux, le dernier mot n'est pas dit sur cette question, et le charbon de cornue offre encore de graves inconvénients : sa compacité n'est pas uniforme, tant s'en faut; il éclate quelquefois, s'use souvent irrégulièrement et produit des variations d'éclat assez considérables. Ces variations tiennent surtout à la présence de matières étrangères, telles que des sels alcalins ou terreux, et aussi de quantités notables de silice. Ces matières sont beaucoup moins fixes que le charbon, elles entrent en vapeur et forment pour une grande partie

la flamme qui entoure l'arc. Cette flamme est plus conductrice que l'arc voltaïque proprement dit ; en outre, comme elle a une plus grande section, elle s'échauffe moins que lui, et comme, de plus, c'est un corps gazeux, son pouvoir d'irradiation est moindre que celui des particules charbonneuses qui constituent l'arc.

Hâtons-nous de dire que, tel qu'il est, en choisissant convenablement les deux baguettes qui doivent garnir un régulateur, le charbon de cornue donne des résultats satisfaisants dans la plupart des applications.

Lorsqu'on renferme l'arc voltaïque dans un globe de verre dépoli, les scintillements, les intermittences et les oscillations dans l'intensité du foyer se font beaucoup moins sentir : les ombres sont moins vives, la lumière est plus douce, plus homogène, plus agréable. Mais le globe est la cause d'une perte de lumière assez considérable et toutes les fois que les petites irrégularités dues à l'imperfection du charbon sont supportables, on laisse brûler les charbons sans globe. On s'habitue d'ailleurs très-facilement à la lumière électrique et les ouvriers, loin de s'en plaindre, recherchent aujourd'hui les usines éclairées par ce procédé.

Plusieurs inventeurs ont cherché à substituer au charbon taillé directement dans les dépôts recueillis sur les parois des cornues, des agglomérés analogues, mais plus purs; d'autres ont simplement purifié les charbons des cornues; quelques-uns ont obtenu des produits très-remarquables au point de vue de l'éclat lumineux, mais irréalisables en pratique à cause de l'exagération du prix de revient.

Parmi tous les procédés proposés et appliqués pour l'amélioration des charbons électriques, nous citerons ceux de MM. Staite et Edwards, Le Molt, Lacassagne et Thiers, Curmer, Jacquelain, Peyret, Archereau, Carré et Gaudoin.

Charbon Staite et Edwards.

En 1846, MM. Staite et Edwards firent breveter un procédé de fabrication de charbon pour lumière électrique qui avait pour base un mélange de coke pulvérisé et de sucre.

Le coke était d'abord réduit en une poudre presque impalpable et additionné d'une petite quantité de sirop, puis le mélange était malaxé, moulé et fortement comprimé. Le charbon subissait ensuite une première cuisson et était plongé dans une dissolution très-concentrée de sucre et soumis de nouveau à la chaleur blanche.

Charbon Le Molt.

M. Le Molt a fait breveter, en 1849, une composition pour crayons électriques, formée de 2 parties de charbon de cornue, 2 parties de charbon de bois ou de coke et 1 partie de goudron liquide. Ces substances étaient préalablement pulvérisées, tamisées, mélangées et amenées par une forte trituration à l'état de pâte dure très-consistante, puis, à l'aide d'un puissant moyen mécanique, soumises à une forte compression.

Les pièces moulées étaient recouvertes d'un enduit de sirop de sucre et placées les unes contre les autres, dans un vase en charbon de cornue. Elles étaient alors soumises à une haute température pendant 20 à 30 heures et purifiées, si nécessaire, par des immersions dans des acides.

Charbon Lacassagne et Thiers.

MM. Lacassagne et Thiers, en 1857, s'occupèrent de la purification des baguettes de charbons de cornue.

Ces messieurs faisaient fondre, par voie ignée, une cer-

taine quantité de potasse ou de soude caustique. Lorsque leur bain était à l'état rouge, ils y faisaient digérer, pendant un quart d'heure environ, les baguettes de carbone provenant des parois intérieures des cornues (ces baguettes étaient préalablement taillées).

Cette opération avait pour but de changer en silicate de potasse ou de soude soluble la silice contenue dans lesdits charbons, et si pernicieuse à la constance de la lumière. Les baguettes de charbon étaient ensuite lavées à l'eau bouillante, puis soumises (dans un tube de porcelaine ou de terre réfractaire chauffée au rouge), pendant plusieurs heures, à l'action d'un courant de chlore, dont la propriété était de faire passer les différentes terres que la potasse ou la soude n'avaient pas attaquées, à l'état de chlorures volatils, de silicium, de calcium, de potassium, de fer, etc.

Ainsi épurés, ces charbons donnaient une lumière un peu plus régulière.

Charbon Curmer.

Le procédé Curmer consiste surtout dans la calcination de noir de fumée, de benzine et d'essence de térébenthine, le tout mélangé et moulé sous forme de cylindres ; la décomposition de ces matières laisse un charbon poreux qu'on imbibe avec des résines ou des matières sucrées et qu'on calcine de nouveau. C'est en répétant ces opérations que M. Curmer réussissait à produire des charbons peu denses et peu conducteurs, il est vrai, mais extrêmement réguliers et exempts de toutes impuretés.

Charbon Jacquelain.

M. Jacquelain, ancien chimiste à l'École centrale, a cherché à imiter les circonstances qui, pendant la fabri-

cation du gaz, donnent naissance au charbon de cornue. Ces circonstances sont l'arrivée au contact des parois incandescentes des cornues de matières hydrocarburées très-denses dont une partie se volatilise, et dont le reste se décompose en laissant pour résidu une couche de charbon. Dans les cornues des usines à gaz, ces matières hydrocarburées entraînent avec elles un grand nombre d'impuretés que contient la houille. En prenant des goudrons provenant d'une véritable distillation, débarrassés, par conséquent, de toutes les impuretés non volatiles, et réalisant dans des appareils spéciaux ces conditions de décomposition au contact de parois fortement échauffées, on devait reproduire les charbons des cornues, mais jouissant d'une pureté parfaite. C'est ce qu'a fait M. Jacquelain en opérant avec un tube de terre réfractaire de $0^{m},15$ de diamètre dans un fourneau improvisé; et il a obtenu des plaques qui, débitées en baguettes à la scie, ont donné une lumière parfaitement tranquille, plus blanche et d'environ 25 pour 100 plus intense, à courant électrique égal, que celle donnée par les charbons ordinaires.

Les expériences faites avec ces crayons, à l'Administration des phares de Paris, avaient été si concluantes, que nous eûmes, vers le commencement de 1876, l'idée de mettre le procédé en pratique. Mais M. Jacquelain, consulté, nous expliqua qu'il lui était impossible de calculer : 1° les dépenses à faire pour l'installation d'une fabrication continue; 2° le prix de revient approximatif du charbon obtenu. Comme d'autre part le procédé de M. Gaudoin commençait à donner de bons résultats, nous ne donnâmes pas de suite à notre idée. Nous savons depuis longtemps ce qu'il en coûte pour convertir un procédé de laboratoire, même très-exact, en opération industrielle, et nous ne voulions pas nous lancer dans une affaire de cette nature sans quelques données numériques.

Les charbons de M. Jacquelain, une fois formés, ont d'ailleurs l'inconvénient d'exiger un travail considérable de main-d'œuvre pour être utilisés (car la matière est si dure, qu'on ne la scie que difficilement) et de produire des déchets relativement considérables.

Charbon Peyret.

M. Peyret, docteur à Lourdes, a préparé des charbons en imbibant des morceaux de moelle de sureau ou tout autre corps poreux avec du sucre fondu et en décomposant ensuite le sucre par la chaleur. En répétant l'opération un nombre de fois suffisant, il obtenait des crayons très-denses qu'il soumettait ensuite à un courant de sulfure de carbone.

Nous n'avons eu en mains que de très-petits fragments de ces crayons, et il nous a été impossible de nous rendre bien compte de leur valeur; leur prix élevé est en tout cas un obstacle très-sérieux au développement d'une fabrication industrielle.

Charbon Archereau.

M. Archereau, dont le nom revient souvent à la plume lorsqu'on s'occupe de questions d'agglomérés de charbons ou d'électricité, vient de présenter à l'Académie des sciences des nouvelles baguettes pour régulateurs électriques, composées de carbone aggloméré et comprimé, mêlé à de la magnésie, qui ont, d'après l'auteur, l'avantage de rendre la lumière plus stable et d'augmenter son pouvoir éclairant.

Nous avons essayé divers échantillons de ces crayons: les uns étaient de bonne qualité, les autres inférieurs aux charbons de cornue. Plusieurs crayons ont fourni une lumière de 150 becs avec une mesure totale de $0^{m},03$ à l'heure. C'est une fabrication qui peut devenir bonne, mais qu'il faut absolument régulariser.

Charbon Carré.

M. Carré a fait un grand nombre d'expériences de lumière électrique sur les charbons de cornue imprégnés de divers sels et a combiné un nouveau produit pour le même usage. Quelques détails sur ses travaux sont nécessaires pour en faire comprendre l'importance et le mérite.

En imprégnant des charbons assez poreux, et par une ébullition prolongée dans des dissolutions concentrées, M. Carré constata :

1° Que la potasse et la soude doublent au moins la longueur de l'arc voltaïque, le rendent muet, se combinent à la silice et l'éliminent des charbons en la faisant fluer à 6 ou 7 millimètres des pointes, à l'état de globules vitreux, limpides et souvent incolores; qu'elles augmentent la lumière dans le rapport de 1,25 à 1 ;

2° Que la chaux, la magnésie et la strontiane augmentent la lumière dans la proportion de 1,40 à 1, en la colorant diversement ;

3° Que le fer et l'antimoine portent l'augmentation à 1,60 ou 1,70 ;

4° Que l'acide borique augmente la durée des charbons en les enveloppant d'un enduit vitreux qui les isole de l'oxygène, mais sans augmenter la lumière ;

5° Qu'enfin l'imprégnation des charbons purs et régulièrement poreux avec des dissolutions de divers corps est un moyen commode et économique de produire leurs spectres, mais qu'il est préférable de mélanger les corps simples aux charbons composés.

Pour la fabrication des crayons factices, M. Carré préconise une composition de coke en poudre, de noir de fumée calciné et d'un sirop spécial formé de 30 parties de sucre de canne et de 12 parties de gomme.

La formule suivante est indiquée au brevet du 15 janvier 1876 :

Coke très-pur en poudre fine presque impalpable.	15 parties.
Noir de fumée calciné.	5 —
Sirop spécial	7 à 8 —

Le tout est fortement trituré et additionné de 1 à 3 parties d'eau pour compenser les pertes par évaporation et selon le degré de dureté à donner à la pâte.

Le coke doit être fait avec les meilleurs charbons pulvérisés et purifiés par lavages. (Les poudres charbonneuses peuvent être aussi purifiées par des lavages avec décantation, macération à chaud dans des bains acides.) Le coke des crasses de cornues à gaz est généralement assez pur.

La pâte est alors comprimée et passée par une filière, puis les charbons sont étagés dans des creusets et soumis pendant un temps déterminé à une haute température.

La cuisson comprend une série d'opérations.

Pour la première, les charbons sont placés horizontalement dans le creuset en fonte sur une couche de poussière de coke, chaque lit est séparé par une feuille de papier pour éviter toute adhérence. Entre la dernière couche et le couvercle, on met 1 centimètre de sable de coke et 1 centimètre de sable siliceux sur le joint du couvercle.

Après la première opération, qui doit durer de quatre à cinq heures au moins et atteindre le rouge-cerise, les charbons doivent rester deux ou trois heures dans un sirop très-concentré et bouillant de sucre de canne ou de caramel, avec deux ou trois intervalles de refroidissement notable, afin que la pression atmosphérique le fasse pénétrer dans tous les pores. On laisse ensuite les charbons égoutter en ouvrant un robinet placé au bas du vase, puis on les agite quelques instants dans l'eau bouillante pour dissoudre le sucre resté à la surface.

Après dessiccation, on soumet les charbons à une seconde cuisson à l'étage qui suit ; on peut alors les mettre debout dans le creuset en remplissant leurs interstices avec du sable.

On les traite de même en les descendant d'un étage à chaque cuisson jusqu'à ce qu'ils aient acquis la densité et la solidité requises et en se servant d'un four ayant autant d'étages qu'on désire de cuissons.

Les charbons sont séchés lentement. On termine leur dessiccation dans une étuve dont la température atteint graduellement 80 degrés en douze ou quinze heures. Pour les empêcher de se déformer, en séchant, les baguettes sont placées dans des tôles ayant la forme de V.

Les charbons Carré sont plus tenaces et plus rigides que ceux de cornue. Ils sont surtout remarquablement droits et réguliers. Des baguettes de $0^m,01$ de diamètre peuvent être employées à $0^m,50$ de longueur, sans crainte de rupture. Leur forme cylindrique, jointe à leur homogénéité, fait que leurs cônes se maintiennent aussi parfaitement taillés que s'ils étaient usés au tour. Ils sont aussi plus conducteurs que les charbons de cornue. Les seuls inconvénients que nous ayons remarqués dans l'emploi consistent en une désagrégation assez rapide, la production de petites flammèches et l'irrégularité dans l'éclat lumineux.

Crayons Gaudoin.

M. Gaudoin a également fait de nombreuses expériences sur les charbons contenant des substances étrangères.

Les corps suivants ont été introduits dans les crayons : 1° phosphate de chaux des os ; 2° chlorure de calcium ; 3° borate de chaux ; 4° silicate de chaux ; 5° silice précipitée pure ; 6° magnésie ; 7° borate de magnésie ; 8° phosphate de magnésie ; 9° alumine ; 10° silicate d'alumine.

Les proportions étaient calculées de manière à obtenir 5 pour 100 d'oxyde après la cuisson des crayons. Ceux-ci étaient soumis à l'action d'un courant électrique toujours de même sens, fourni par une machine Gramme assez puissante pour entretenir un arc voltaïque de 10 à 15 millimètres de longueur.

Le crayon négatif étant placé en bas, M. Gaudoin a observé les résultats suivants :

1° La décomposition complète du phosphate de chaux; sous la triple influence de l'action électrolytique, de l'action calorifique, et de l'action réductrice du carbone. Le calcium réduit se rend sur le charbon négatif et brûle au contact de l'air avec une flamme rougeâtre. La chaux et l'acide phosphorique se répandent dans l'air, en produisant une fumée assez abondante. La lumière, mesurée au photomètre, est double de celle qui est produite par des crayons de même section taillés dans les résidus des cornues à gaz.

2° Le chlorure de calcium, le borate et le silicate de chaux sont également décomposés, mais les acides borique et silicique paraissent échapper par la volatilisation à l'action de l'électricité. Ces corps donnent moins de lumière que le phosphate de chaux.

3° La silice introduite dans les crayons les moins conducteurs diminue la lumière, fond et se volatilise sans être décomposée.

4° La magnésie, le borate et le phosphate de magnésie sont décomposés; le magnésium en vapeur se rend sur le charbon négatif et brûle au contact de l'air avec une flamme blanche. La magnésie, les acides borique et phosphorique se répandent dans l'air à l'état de fumée. L'augmentation de lumière est moins considérable qu'avec les sels de chaux.

5° L'alumine et le silicate d'alumine ne sont décomposés qu'avec un courant très-fort et un arc voltaïque très-considérable ; mais, dans ces circonstances, la décomposition de

l'alumine est bien manifeste, et l'on voit l'aluminium en vapeur sortir du négatif comme un jet de gaz et brûler avec une flamme bleuâtre peu éclairante.

La flamme et la fumée qui accompagnent constamment ces lumières électro-chimiques lui ayant paru un grand obstacle à leur utilisation pour l'éclairage, M. Gaudoin n'a pas poussé plus loin ces expériences. Il a préféré poursuivre ses études sur les agglomérés en carbone.

Les produits fabriqués par M. Gaudoin[1] étant supérieurs à tous les autres, nous allons nous étendre un peu sur leur mode de fabrication.

Le brevet est daté du 12 juillet 1876.

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, les crayons destinés à la production de l'arc voltaïque doivent être en carbone chimiquement pur. Or, la poussière de charbon de cornue, quoique ne contenant qu'une faible proportion de matières étrangères, n'est pas suffisamment bonne pour cet usage, et son emploi présente des inconvénients. Les lavages aux acides ou aux alcalis qu'on peut faire subir aux matières charbonneuses, dans le but d'enlever les impuretés qu'elles contiennent, sont coûteux et insuffisants. Le noir de fumée est assez pur, mais son prix est élevé et son maniement difficile. M. Gaudoin a dû chercher ailleurs une meilleure source de carbone, et il a trouvé sa solution en décomposant, par la chaleur en vases clos, les brais secs, gras ou liquides, les goudrons, résines, bitumes, essences et huiles naturelles ou artificielles, matières organiques susceptibles de laisser du carbone suffisamment pur, après leur décomposition par la chaleur.

Les appareils employés pour effectuer cette décomposi-

1. M. Octave Gaudoin est l'inventeur du procédé de galvanisation directe de la fonte et du fer, appliqué en grand au Val d'Osne, lequel donne des résultats bien supérieurs à tous les autres systèmes de cuivrage en usage aujourd'hui.

tion sont des cornues ou creusets fermés en plombagine. Ces creusets sont disposés dans un fourneau capable de les chauffer au rouge clair. La partie inférieure des creusets est munie de deux tubes servant, l'un au dégagement des gaz et matières volatiles, l'autre à l'introduction de la matière première.

On peut conduire les produits volatils de la décomposition sous la grille du foyer et les brûler pour chauffer les creusets, mais il est plus avantageux de les diriger dans une chambre de condensation, puis dans un serpentin en cuivre, et de recueillir, après condensation, les goudrons, huiles, essences et carbures d'hydrogène qui prennent naissance dans cette opération.

M. Gaudoin utilise ces différents sous-produits dans la fabrication même de ses charbons; il a grand soin d'éviter, pour les serpentins et les vases de conservation, l'emploi du fer, de la fonte, du zinc et de toutes substances susceptibles d'être attaquées par ces goudrons, car toute leur valeur réside dans leur pureté.

Quelle que soit la matière première employée à la fabrication de ce charbon, la décomposition par la chaleur peut être menée lentement ou brusquement, selon la nature des produits secondaires qu'on se propose d'obtenir. Pour opérer lentement, il suffit d'emplir la cornue aux deux tiers et de chauffer graduellement jusqu'au rouge clair, en évitant, autant que possible, le boursouflement de la matière. Pour opérer brusquement, on chauffe d'abord la cornue vide au bon rouge, et on fait arriver la matière première au fond par petite portion, soit en filet, si elle est liquide, soit en petits fragments, si elle est solide.

La distillation lente donne plus de goudron et d'huiles lourdes et peu de gaz. La décomposition brusque donne plus d'essences légères et de gaz.

Lorsque la matière première a été convenablement choi-

sie, il reste dans la cornue du charbon plus ou moins compacte. On le pulvérise aussi finement que possible et on l'agglomère soit seul, soit mêlé à une certaine quantité de noir de fumée, au moyen des carbures d'hydrogène obtenus comme produits secondaires.

Ainsi préparés ces carbures sont complétement exempts de fer, et sont bien préférables à ceux qu'on trouve dans le commerce, non-seulement par l'agglomération du carbone, mais encore par l'imprégnation ou l'imbibition des objets fabriqués. (Cette dernière opération, tout en bouchant les pores, y introduit de l'oxyde de fer quand elle est faite avec les produits du commerce.)

Les objets faits en carbone aggloméré sont, pour une variété de carbone d'autant plus combustibles qu'ils sont plus poreux, et d'autant plus poreux qu'ils ont été moulés à une moindre pression. L'inventeur se sert, pour sa fabrication, de moules en acier capables de résister aux plus hautes pressions d'une forte presse hydraulique.

Quoique la filière, ou appareil à mouler, usitée depuis longtemps dans la fabrication des crayons ordinaires de plombagine, puisse servir sans aucune modification à la fabrication des crayons pour lumière électrique, M. Gaudoin a apporté à cet appareil certains perfectionnements importants. Ainsi, au lieu de faire sortir les crayons de haut en bas, suivant la verticale, il place l'orifice ou les orifices du moule sur le côté et de manière à ce que les crayons sortent en formant avec l'horizon un angle descendant de 20 à 70 degrés. Les crayons sont guidés sur toute leur longueur par des tubes ou par des rigoles.

Cette disposition permet de vider toute la matière contenue dans le moule sans interrompre le travail, et comme les crayons sont constamment soutenus, ils ne cassent plus sous leur propre poids, ce qui arrive souvent quand ils sortent de haut en bas.

Nous avons fait, à diverses époques, de nombreux essais avec toutes sortes de crayons, et ce sont ceux de la fabrication de M. Gaudoin qui nous ont donné les meilleurs résultats. Il a fallu beaucoup de temps et des dépenses d'argent considérables pour faire entrer cette fabrication du domaine scientifique dans celui de la pratique, mais enfin le succès est venu couronner les efforts de l'inventeur.

TABLEAU DES EXPÉRIENCES FAITES LE 6 NOVEMBRE 1876 SUR DIVERS CRAYONS ÉLECTRIQUES.

DÉSIGNATION des CRAYONS.	DIMENSIONS.	VITESSE DE LA MACHINE.	USURE DU NÉGATIF.	USURE DU POSITIF.	USURE TOTALE.	USURE MOYENNE DES DEUX EXPÉRIENCES.	RÉGULARITÉ.	OBSERVATIONS.
			mm.	mm.	mm.	mm.		
Cornue....	9^{mm2}	800	19	36	55	63	Irrégulière.	Scintillement, éclipse de courte durée, un peu de désagrégation.
	9	920	23	48	71		Assez régulière.	
Archereau .	10^{mm} de diamètre.	800	20	60	80	85	Assez régulière.	Un peu de désagrégation, un peu de flammèches. Cendres d'oxyde de fer en assez grande quantité. Lumière blanche. Taille bonne.
	10^{mm} de diamètre.	920	30	60	90		Assez régulière.	
Carré......	$10^{mm},4$ de diamètre.	800	18	60	78	92	Irrégulière.	Un peu de désagrégation, un peu de flammèches ; plus de cendres que les précédents ; rougissant sur une plus grande longueur.
	$10^{mm},4$ de diamètre.	920	26	80	106		Assez régulière.	
Gaudoin...	$11^{mm},3$ de diamètre.	800	20	38	58	73	Très-régulière.	Pas de désagrégation, ni de flammèches ; moins de cendres que les crayons Carré et Archereau.
	$11^{mm},3$ de diamètre.	920	38	50	88		Très-régulière.	

La lumière produite avec les charbons de cornue était égale à 103 becs, et celle produite par les charbons artificiels variait entre 120 et 180 becs pour les crayons Archereau et Carré, et entre 200 à 210 pour les crayons Gaudoin. La moyenne de 150 becs peut être appliquée, sans erreur appréciable, aux crayons Archereau et Carré, et celle de 205 aux crayons Gaudoin.

Ramenée à une section uniforme de $0^{m2},0001$, l'usure des charbons était respectivement :

Pour les charbons de cornue. . . .		51	millimètres.
Pour les agglomérés Archereau. . .		66	—
—	Gaudoin. . . .	73	—
—	Carré	77	—

Par rapport à la lumière produite, cette usure était :

Pour les charbons	Gaudoin. . . .	35	millimètres	pour 100 becs.
—	Archereau. . .	44	—	—
—	Carré.	51	—	—
—	de cornue. . .	49	—	—

Ces expériences ont été faites avec une machine Gramme construite par M. Bréguet et une lampe Carré du même constructeur. Les charbons avaient été pris au hasard dans un lot de plusieurs mètres pour chaque catégorie.

Sur la demande d'un des inventeurs, nous avons fait de nouvelles expériences avec le concours de MM. Gramme et Lemonnier, en opérant avec une machine Gramme plus puissante et une lampe Serrin.

Le tableau suivant contient les moyennes de trois séries d'expériences exécutées avec la plus grande précision. La lampe électrique était placée bien verticalement au même niveau que la lampe à huile et que le photomètre. Toutes les précautions étant prises pour qu'il n'y ait aucune erreur sensible dans les mesures d'intensité lumineuse.

RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES FAITES LE 4 AVRIL 1877, SUR DIVERS CHARBONS.

DÉSIGNATION DES CHARBONS.	FORME et DIMENSIONS.	SECTION en MILLIMÈTRES CARRÉS.	USURE TOTALE A L'HEURE en millimètres.	LUMIÈRE MOYENNE en becs carcel.	LONGUEUR DE L'ARC en millimètres.	NOMBRE DE TOURS par minute DE LA MACHINE.	RÉGULARITÉ.	OBSERVATIONS.
Charbon de cornue, bonne qualité.	Carré. 9mm de côté.	81	60	120	2 1/2	820	Passable.	Éclats nombreux. Projection d'un petit morceau. Scintillement. Charbons se taillant très-irrégulièrement.
Charbon de M. Archereau. Nouvel échantillon.	Rond. 10mm de diamètre.	78	68	173	3	820	Nulle.	Désagrégation, flammèches, lumière très-variable d'intensité par période. Taille en petites facettes.
Charbon de M. Carré. Nouvel échantillon.	Rond. 9mm de diamètre.	64	69	175	3	820	Médiocre.	Petites flammèches. Lumière tournante. Très-variable d'intensité. Bonne taille des charbons.
Charbon de M. Gaudoin. Type n° 1.	Rond. 11mm,2 de diamètre.	98	80	203	3	820	Bonne.	Pas de flammèches, ni éclat. Lumière un peu rougeâtre, mais bien constante.
Charbon de M. Gaudoin. (Aggloméré de charbon de bois.)	Rond. 11mm,5 de diamètre.	78	78	240	3	820	Assez bonne	Lumière très-blanche. Moins fixe qu'avec les charbons Gaudoin n° 1. Pas de flammèches. Petites variations.

L'usure des charbons, ramenés à une section uniforme de $0^{m^2},0001$, était respectivement, dans ces nouvelles expériences :

Pour les charbons	Carré	44	millimètres.
—	de cornue	49	—
—	Archereau	53	—
—	Gaudoin (charb. de bois)	61	—
—	Gaudoin n° 1	78	—

Par rapport à la lumière produite cette usure était :

Pour les charbons	Gaudoin (charb. de bois)	32	mill.	pour 100 becs.
—	Archereau	39	—	—
—	Carré	40	—	—
—	Gaudoin, n° 1	40	—	—
—	de cornue	50	—	—

La lumière donnée par les charbons Gaudoin n° 1 était un peu moins régulière que celle observée le 6 novembre 1876. Celle donnée par les charbons Carré variait en moins d'une minute de 100 à 250 becs; elle tournait positivement autour des pointes, comme cela a lieu avec des courants alternatifs. Les crayons Archereau nous ont paru moins bons qu'aux premiers essais ; ils s'usaient lentement, mais ils produisaient des éclats lumineux si variables, qu'il était difficile de prendre des mesures photométriques. Seuls les charbons de cornue avaient conservé leur durée, leur intensité lumineuse, et, malheureusement, leur irrégularité.

Nous signalerons, pour terminer ce chapitre, les perfectionnements que M. Gaudoin vient d'apporter à son procédé et qu'il a fait breveter le 7 avril 1877.

Au lieu de carboniser du bois, de le réduire en poudre et de l'agglomérer ensuite, l'inventeur prend du bois sec, convenablement choisi, auquel il donne la forme du crayon définitif, puis il le convertit en charbon dur et l'imbibe fina-

lement comme dans la fabrication que nous avons décrite. La distillation du bois se fait lentement de manière à chasser les corps volatils, et le séchage final est obtenu dans une atmosphère réductrice d'une température très-élevée. Un lavage préalable dans des acides et des alcalis enlève au bois les impuretés qu'il possède.

M. Gaudoin indique également le moyen de boucher les pores du bois en le faisant chauffer au rouge et en le soumettant à l'action du chlorure de carbone et de divers carbures d'hydrogène. Il espère ainsi produire des charbons électriques s'usant peu et donnant une lumière absolument fixe.

CHAPITRE IV.

MACHINES MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES.

Définition. — Transformation du travail en électricité. — Influence d'un courant sur une aiguille aimantée. — Expérience d'Œrstedt. — Action mutuelle de deux courants. — Découverte d'Ampère. — Action d'un courant sur un fer doux. — Découverte d'Arago. — Action d'un aimant sur une spire métallique. — Découverte et expériences de Faraday. — Électricité d'induction. — Machine de Pixii : commutateur. — Machine de Clarke. — Machine de Niaudet. — Machine de Nollet ou de l'*Alliance*. — Machine de Holmes. — Machine de Wilde. — Progrès réalisés par Wheatstone et Siemens. — Magnétisme rémanent. — Machine de Ladd. — Machines Lontin.

On appelle *machine magnéto-électrique* l'ensemble des organes destinés à créer et à recueillir les courants électriques d'induction.

Le fonctionnement d'une machine magnéto-électrique exige l'intervention d'un moteur quelconque, animé ou inanimé, et, pour un même genre d'appareils, la force motrice employée est d'autant plus grande que la quantité d'électricité produite est plus considérable. On peut même définir ces machines en disant qu'elles ont pour objet la transformation du travail en électricité.

Quand les aimants sont remplacés par des électro-aimants, on désigne souvent les machines sous le nom de *dynamo-électriques*, pour ne pas les confondre avec celles formées d'aimants ordinaires ou d'aimants Jamin.

Nous conserverons le nom primitif, parce que le magnétisme est la source du courant aussi bien avec des aimants qu'avec des électro-aimants, et qu'il faut distinguer les machines d'induction des machines à plateau de verre, lesquelles transforment également le travail en électricité.

Si l'on voulait donner des désignations plus complètes, on nommerait *machines dynamo-électriques* toutes celles qui exigent un moteur, et *dynamo-magnéto-électriques* celles qui exigent en même temps un moteur et un aimant. Pour plus de simplicité, nous n'ajouterons pas le mot *dynamo* et nous ferons suivre chaque désignation de machine du nom de son inventeur.

Quelques détails scientifiques sont nécessaires pour faire comprendre le principe et le mode de fonctionnement des machines magnéto-électriques.

Au mois de juillet 1820, Œrstedt, physicien danois, remarqua qu'une aiguille aimantée est déviée de sa direction quand on la place près d'un circuit électrique fermé. Le même phénomène ayant lieu quand le courant est remplacé par un aimant, il devint évident pour Œrstedt, comme pour tous les physiciens contemporains, qu'une analogie complète existait entre l'électricité et le magnétisme.

De cette première observation date réellement l'une des plus belles conquêtes de l'esprit humain dans le domaine de la physique. On parlait souvent dans le monde scientifique, bien avant 1820, de la relation intime qui existait entre un courant électrique et un aimant : ce fait servait même de base à plusieurs théories sur l'électricité, mais personne ne l'avait rendu palpable, et c'est l'expérience d'Œrstedt qui seule ouvrit à la science la route lumineuse que les savants ont depuis parcourue avec tant de succès.

Le 11 septembre 1820, M. de La Rive répéta l'expérience d'Œrstedt à Paris, devant l'Académie des sciences; huit jours après, le 20 septembre, Ampère constata l'action mutuelle de deux courants et celle des aimants sur les courants; le 25 septembre, Arago découvrit qu'un courant électrique pouvait donner la vertu magnétique à une barre de fer ou d'acier. Jamais les découvertes sur un même sujet ne surgirent plus rapidement, ne furent plus vite expli-

quées théoriquement et ne donnèrent lieu à de plus admirables applications.

C'est un physicien anglais, Faraday, qui, en 1830, eut l'honneur de compléter les travaux d'Œrstedt, d'Ampère et d'Arago, en démontrant qu'un aimant pouvait donner naissance à un courant électrique.

Faraday constata, en effet, par de nombreuses expériences, que si l'on introduit un barreau aimanté dans une

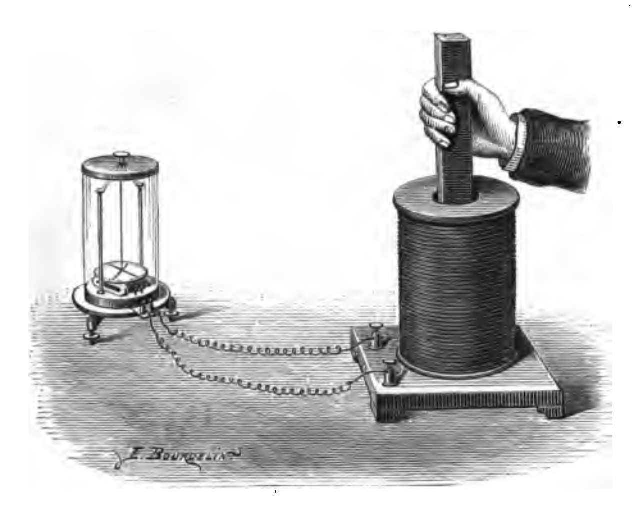


Fig. 10.

bobine de fil métallique isolé, on y détermine un courant électrique. Il constata également que lorsqu'un circuit est parcouru par un courant électrique d'un certain sens et qu'on en approche un autre circuit métallique, non parcouru par un courant, pendant tout le temps que dure le mouvement de rapprochement, il naît un courant électrique dans le second circuit, lequel courant est de sens inverse au premier.

Les courants développés par l'influence d'un aimant ou d'un circuit électrisé sont appelés *courants d'induction* ou *courants induits*. Le barreau aimanté ou le premier courant

ayant donné naissance aux courants induits se nomme *inducteur* ou *courant inducteur*.

La figure 10 montre comment Faraday fit l'expérience des courants induits au moyen d'aimants. Il prit une bobine à un seul fil de 200 à 300 mètres de longueur, ouverte à l'intérieur et placée sur une planchette. En dessous de la planchette, les deux extrémités du fil aboutissaient à deux bornes, desquelles partaient deux fils de cuivre établissant

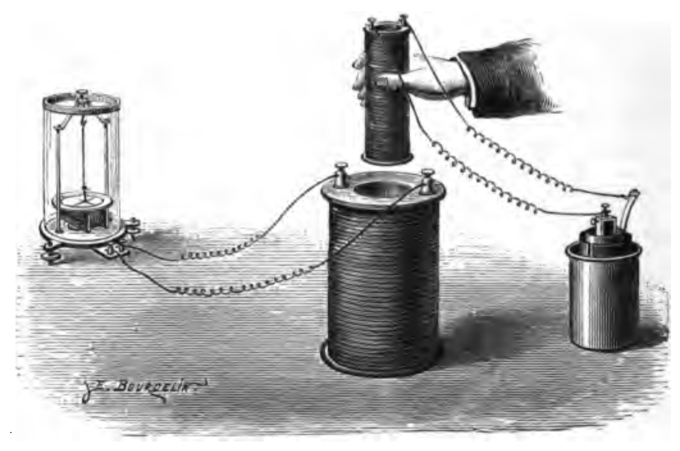


FIG. 11.

la communication avec un galvanomètre. En introduisant brusquement un aimant dans cette bobine, l'illustre physicien observa les phénomènes suivants :

1° Au moment où le barreau pénètre dans la bobine, le galvanomètre indique l'existence d'un courant d'un certain sens; 2° lorsqu'on s'arrête, l'aiguille revient à zéro; 3° au moment où l'on retire le barreau, le galvanomètre indique un courant de sens inverse au premier.

La figure 11 représente l'expérience d'un courant inducteur sur une spirale inerte. Une première bobine creuse, garnie d'un seul fil fin et long, est mise en relation avec un galvanomètre, et une seconde bobine, garnie d'un fil court et gros, est reliée à une pile, et par conséquent traversée par

un courant voltaïque. Si l'on plonge la bobine supérieure dans l'autre, on voit qu'il se produit instantanément dans la bobine inférieure un courant inverse de celui de la bobine inductrice. Ce courant cesse pendant tout le temps que la petite bobine est dans la grande, puis il naît un courant direct au moment même où l'on retire rapidement la bobine inductrice de la bobine induite.

Faraday fit aussi une très-belle expérience pour prouver qu'il existe des courants induits dans un cercle métallique tournant rapidement devant les pôles d'un aimant, et son appareil, d'une extrême simplicité, peut être considéré comme la première machine magnéto-électrique qui ait été exécutée.

En 1832, Pixii, constructeur d'instruments de physique, à Paris, combina une machine très-ingénieuse pour réaliser pratiquement les expériences de Faraday, et, depuis cette époque, un grand nombre de solutions furent proposées pour le même but.

Parmi les travaux les plus importants faits dans cet ordre d'idées, nous citerons ceux de Saxton, de Clarke, de Nollet, de Siemens, de Wheatstone, de Ruhmkorff, de Wilde, de Pacinotti, de Holmes, de Ladd, de Bréguet, de Gramme, de Niaudet, etc., etc. On a pu voir une belle collection de machines magnéto-électriques exposées au South Kensington Museum de Londres en 1876, contenant presque toutes les dispositions imaginées depuis quarante ans.

Nous nous éloignerions trop du sujet principal de cette étude si nous donnions une description détaillée de toutes les machines qui ont été réalisées pratiquement, même en nous bornant à celles qui ont eu du succès; ceux de nos lecteurs qui voudront avoir des renseignements complets sur cette intéressante question pourront consulter utilement la collection des brevets français et anglais, et les traités de MM. Jamin, Daguin, du Moncel, etc.

Nous allons simplement donner quelques détails sur les machines de démonstration de Pixii, Clarke et Niaudet, et sur les machines à lumière électrique de Nollet, Wilde, Ladd et Holmes.

La machine de Pixii (fig. 12) se compose d'un électro-aimant, d'un aimant, d'un bâti en bois, d'une transmission

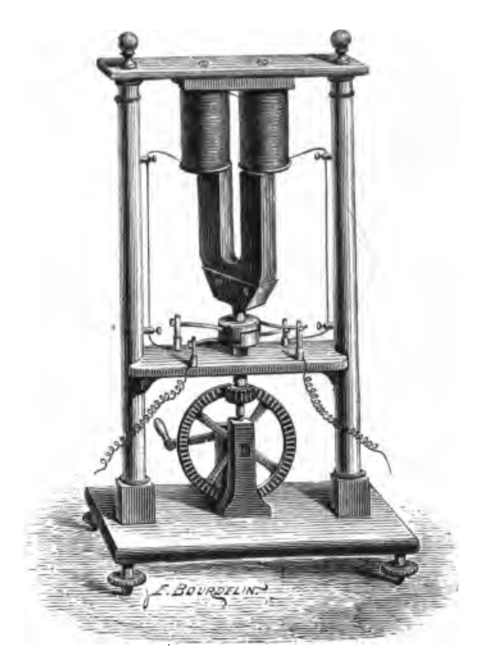


Fig. 12. Machine de Pixii.

de mouvement et d'un petit appareil redresseur de courants.

L'électro-aimant est attaché à la partie supérieure d'une petite potence et l'aimant est disposé pour tourner rapidement devant l'électro-aimant, pôles contre pôles. Une manivelle et une paire d'engrenages suffisent pour actionner l'aimant. L'ensemble de l'appareil est tout à fait primitif, mais sa marche est suffisamment satisfaisante eu égard surtout à la date de sa construction.

Lorsqu'on donne le mouvement à l'aimant on fait successivement passer ses pôles devant les pôles de l'électro-aimant. Il se produit à chaque demi-révolution dans le fil des bobines un courant qui se propage dans les fils conducteurs parallèles aux montants verticaux du bâti. Ce courant, qui est d'autant plus intense que les pôles de l'aimant rasent de plus près ceux de l'électro-aimant, est alternativement direct et inverse, et pour beaucoup d'applications il a besoin d'être redressé. C'est ce qu'on fait au moyen du *commutateur* placé sur l'axe de rotation au-dessus de la table.



FIG. 13. Commutateur.

Le *commutateur* étant un des organes les plus importants des machines d'induction à courants alternatifs, il est utile de donner une idée bien nette de sa fonction et du principe sur lequel il est basé.

Soient A et B (fig. 13) les deux moitiés d'un cylindre, isolées complétement l'une de l'autre par un corps mauvais conducteur FG, et reliées, chacune, avec un des pôles d'une pile voltaïque quelconque. Tant que le cylindre restera au repos, les pièces frottantes C et D et les conducteurs HJ, y attachés, seront le siége d'un courant direct; mais dès qu'on fera tourner le cylindre autour de son axe, et à chaque

demi-révolution, le courant recueilli par les pièces frottantes changera de sens. Cela n'a besoin d'aucune démonstration.

Si maintenant on relie le cylindre AB à l'axe d'une machine d'induction, en combinant l'assemblage de telle sorte que l'axe puisse tourner avec ou sans le cylindre, et si l'on joint le demi-cylindre A à une bobine de l'électro-aimant et le demi-cylindre B à l'autre, il se passera exactement le contraire de ce qui se passait avec une pile voltaïque. Il est clair, en effet, que lorsque le cylindre AB sera fixe et la machine en mouvement, à chaque demi-révolution les conducteurs H J seront le siége de courants alternativement directs et inverses, et que lorsque le cylindre AB participera au mouvement de la machine les courants recueillis seront toujours de même sens : les choses étant disposées pour que le courant développé dans l'électro-aimant change de sens, au moment même où les parties frottantes C et D changent de demi-cylindre.

Tel est, en substance, le rôle de tous les commutateurs; leur forme et la combinaison de leurs détails peuvent varier à l'infini, mais le principe sur lequel ils reposent est toujours le même : présenter les pôles inverses d'un circuit aux pièces frottantes à chaque inversion du courant dans la machine. Les commutateurs les plus connus sont ceux d'Ampère, de Clarke, de Ruhmkorff, de Bertin, etc.

Dans toutes les machines destinées aux décompositions chimiques, il est absolument nécessaire de redresser les courants. Pour la production de la lumière électrique, cela n'est pas utile.

La partie du commutateur où les pièces frottantes quittent un des conducteurs pour passer sur l'autre, est ordinairement le siége d'étincelles multiples, très-intenses, qui détériorent rapidement cet organe et qui sont souvent une cause d'insuccès insurmontable pour les machines très-bien

appropriées, commutateur à part, à un travail industriel.

La pratique ayant démontré qu'il était inutile de faire l'électro-aimant aussi massif que le faisait Pixii, tandis qu'il y avait avantage à augmenter la puissance de l'aimant permanent, Saxton combina une machine à électro-aimant horizontal, tournant devant les pôles placés bout à bout

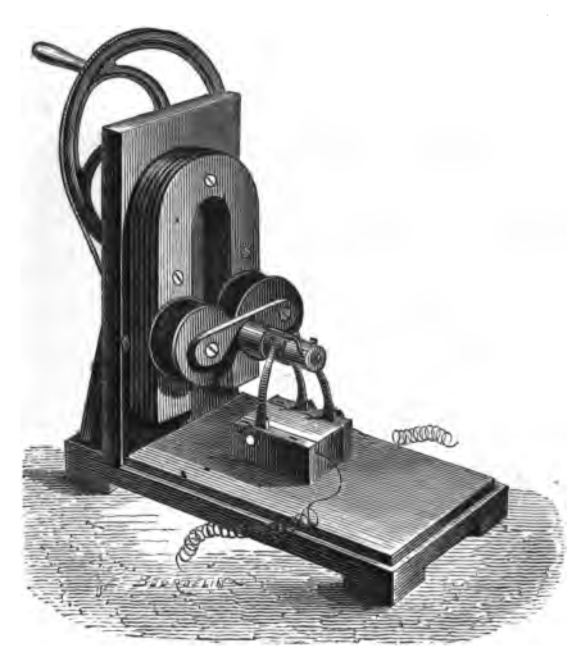


Fig. 14. Machine de Clarke.

d'un aimant également horizontal, et Clarke réalisa la même idée en mettant l'aimant vertical et en plaçant l'électro-aimant latéralement et non bout à bout. Bien que ce perfectionnement ne soit pas primordial, et que le mérite de Pixii et de Saxton soit plus grand et généralement plus apprécié des savants que celui de Clarke, c'est le nom de ce dernier qui a prévalu pour caractériser toutes les classes de machines d'induction à courants alternatifs.

L'appareil Clarke (fig. 14) se compose d'un faisceau

aimanté, recourbé en fer à cheval et fixé sur une planchette verticale. En avant de ce faisceau se trouvent deux bobines que l'on fait tourner au moyen d'un grand engrenage actionnant un petit pignon calé sur l'arbre. Les bobines sont enroulées sur deux cylindres de fer doux, réunis entre eux par une pièce de même métal. A chaque demi-révolution les pôles de l'électro-aimant passent très-près

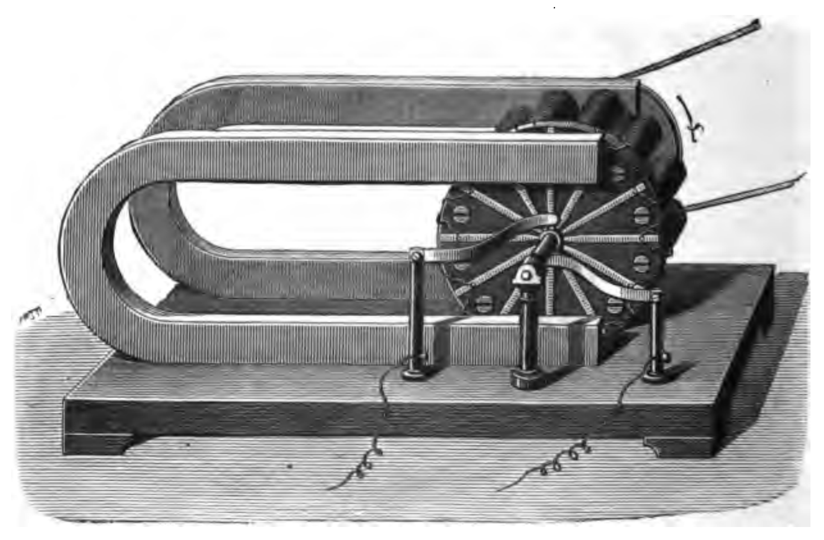


Fig 15. Machine de Niaudet.

des pôles de l'aimant permanent et un commutateur placé à l'extrémité de l'arbre redresse les courants. Ceux-ci traversent les pièces frottantes pour se rendre aux conducteurs et de là à un voltamètre ou à tout autre appareil d'expérience.

Tout récemment M. Alfred Niaudet a combiné une machine Clarke multiple, possédant le précieux avantage de pouvoir se passer de commutateur pour la production des courants de même sens. Nous la représentons figure 15. C'est, comme on le voit, une série de 12 bobines placées entre deux plateaux et tournant entre les pôles de deux aimants

permanents. Les bobines des électro-aimants sont toutes rattachées les unes aux autres; le bout entrant de chacune étant lié au bout sortant de la bobine voisine; exactement comme une série d'éléments galvaniques réunis en tension, c'est-à-dire le pôle positif de chacun lié au pôle négatif du suivant. Quand le plateau tourne dans le sens de la flèche, en supposant le pôle N de l'aimant en bas et le pôle S en haut, voici ce qui se passe dans une bobine quelconque : à mesure qu'elle s'éloigne du pôle N, il s'y développe un courant d'un certain sens et ce courant reste de même sens pendant tout le temps que la bobine va du pôle N au pôle S, car l'approche du pôle S a la même influence que l'éloignement du pôle N et ces deux effets sont concourants. Mais pendant la seconde demi-révolution de la bobine, elle s'éloigne du pôle S et s'approche du pôle N, et par conséquent le sens du courant est inverse de ce qu'il était dans la première moitié du mouvement.

Voyons maintenant ce qui se passe dans l'ensemble. A un moment quelconque, considérons toutes les bobines placées à droite de la ligne des pôles; elles sont toutes parcourues par des courants de même sens, qui sont associés en tension. Au même moment les bobines placées à gauche de la ligne des pôles sont parcourues par des courants de sens inverse aux premiers et comme eux associés en tension. La somme des courants de droite est d'ailleurs manifestement égale à celle des courants de gauche. L'ensemble peut donc être considéré comme deux piles de 6 éléments opposées l'une à l'autre par leurs pôles de même nom. Or, si un circuit électrique est mis en communication par ses deux extrémités avec les points où ces deux séries d'éléments sont opposées, il est parcouru à la fois par les courants des deux piles, qui se trouvent alors associées en quantité.

Par analogie, pour recueillir les courants développés dans

la machine Niaudet, il faut établir des frotteurs qui touchent les points de liaison des différentes bobines entre elles, au moment où il passent sur la ligne des pôles. A cet effet, l'inventeur, s'inspirant de la machine Gramme dont nous parlerons plus loin, a placé des pièces métalliques qui, dirigées radialement, communiquent avec les points de jonction des bobines et sur lesquelles se fait la prise des courants.

L'innovation la plus importante qu'on ait apportée aux

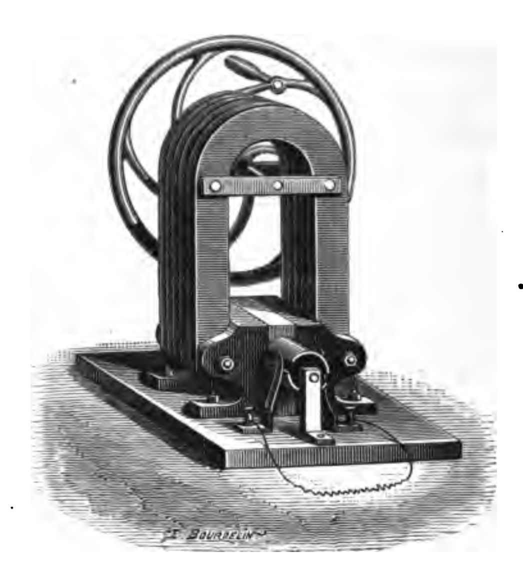


FIG. 16. Machine de Siemens.

machines d'induction à courants alternatifs, depuis Clarke, est sans contredit la construction de la bobine longitudinale imaginée par Siemens et Halske, de Berlin, en 1854. Le fer de cette bobine est d'abord façonné en cylindre, puis creusé suivant l'axe de deux grandes rainures larges et profondes, de sorte que la section transversale ressemble à un double T. Le fil de cuivre, garni d'un isolant, est enroulé dans les rainures parallèlement à l'axe du cylindre, et il est recouvert d'une feuille de laiton qui, avec la partie du fer, restée libre,

constitue un cylindre complet. L'un des bouts du fil est soudé à l'axe métallique du cylindre, et l'autre bout est soudé à une virole de métal isolée sur l'extrémité de cet axe.

La figure 16 représente une machine Siemens garnie de sa bobine. Les armatures de l'aimant sont alésées de manière à embrasser très-étroitement la bobine en ne laissant strictement que le jeu nécessaire pour permettre la rotation de la bobine. Cette disposition offre l'avantage de faire naître le maximum possible d'électricité et d'empêcher les aimants de perdre leur puissance, car la bobine joue le rôle des garnitures en fer dont on munit ordinairement les aimants pour les empêcher de s'affaiblir.

La machine magnéto-électrique connue aujourd'hui sous le nom de *machine de l'Alliance* a été imaginée par Nollet, professeur de physique à l'école militaire de Bruxelles. Le but que se proposait l'inventeur était de décomposer l'eau et de faire servir à l'éclairage les gaz provenant de cette décomposition. Des capitaux considérables furent engloutis pour la recherche de cette solution chimérique et la machine de *l'Alliance* n'aurait probablement donné aucun résultat industriel sans un perfectionnement capital dont la dota M. Van Malderen, élève de Nollet.

Cette machine (fig. 17) est formée d'un certain nombre de rouleaux en bronze C, armés chacun, à leur circonférence, de 16 bobines. Ces plateaux sont établis sur un arbre horizontal actionné par un moteur quelconque au moyen d'une courroie D, et ils tournent entre 8 rangées de faisceaux aimantés BB, rayonnant autour de l'axe et supportés parallèlement au plan du disque par un bâti spécial. Comme chaque aimant a deux pôles, une série présente 16 pôles régulièrement espacés ; il y a donc autant de pôles que de bobines, de telle sorte que, quand l'une d'elles est en face d'un pôle, les 15 autres se trouvent également en face

de pôles. Les machines ont ordinairement 4 disques ou 6 disques, ce qui correspond par conséquent à 64 bobines et 40 aimants permanents pour l'une et à 96 bobines et 56 aimants permanents pour l'autre. L'un des pôles du courant total aboutit à l'arbre qui se trouve en communi-

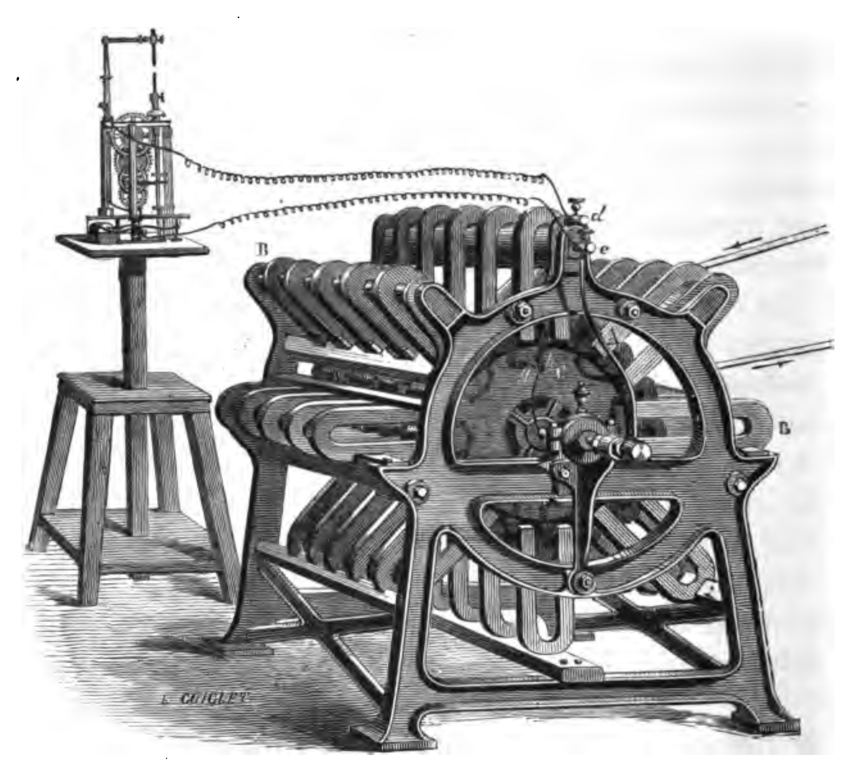


FIG. 17. Machine de la Société *l'Alliance.*

cation avec le bâti par l'intermédiaire des coussinets; l'autre pôle aboutit à un manchon concentrique à l'arbre, isolé de lui par une substance non conductrice.

Le courant change de sens chaque fois qu'une bobine passe devant les pôles des aimants; or il y a 16 pôles d'aimants, il y aura donc 16 changements par tour des disques, et comme la machine fait 400 tours par minute (plus de

6 tours par seconde) on aura au moins 100 changements de sens par seconde.

Le grand perfectionnement dont nous parlions tout à l'heure est relatif à la suppression du commutateur pour la production de la lumière électrique. C'est en effet cette simplification qui rendit tout à fait pratique la machine de Nollet et qui lui permit d'être appliquée utilement dans d'assez nombreuses circonstances.

Dans les deux leçons faites par M. Le Roux à la Société d'encouragement se trouvent les détails les plus complets sur la théorie, la construction, le fonctionnement et le rendement de la machine de *l'Alliance*; c'est le travail le mieux compris et le plus compréhensible qui ait été publié sur ce sujet, et c'est à lui que nous empruntons l'explication suivante de la production de lumière avec des courants non redressés.

Puisque le sens du courant change, et cela une centaine de fois par seconde, il faut nécessairement qu'à chaque changement l'intensité du courant passe par zéro; ainsi cent fois par seconde l'étincelle cesse de jaillir entre ces deux charbons, cent fois par seconde l'arc voltaïque cesse d'exister. La lumière ne nous en paraît pas moins continue; cela est dû à la persistance bien connue des impressions de la lumière sur la rétine et aussi à ce que l'arc voltaïque proprement dit n'entre que pour une fraction dans la production de la lumière électrique, le restant étant dû à l'incandescence des charbons, incandescence qui ne cesse pas immédiatement avec le passage du courant. Mais comme on sait que les courants employés ne jouissent pas d'une tension suffisante pour que dans les circonstances ordinaires l'étincelle jaillisse à distance, qu'il suffit d'un souffle pour interrompre l'arc voltaïque et qu'alors celui-ci reste éteint jusqu'à ce que les charbons aient été ramenés au contact et écartés de nouveau, on s'étonne tout d'abord que les

cessations du courant, reproduites ainsi un si grand nombre de fois par seconde, n'amènent pas l'extinction de la lumière. Le fait est difficile à expliquer : la tension du courant n'est pas suffisante pour que l'étincelle jaillisse à distance entre les charbons froids; mais quand ceux-ci sont, au préalable, portés à l'incandescence par le passage même du courant, l'atmosphère qui les entoure est devenue plus conductrice par l'élévation de la température, et sans doute aussi par la présence de particules charbonneuses; la durée de l'interruption étant très-courte, les qualités de l'atmosphère qui entoure les charbons n'ont pas le temps d'être modifiées sensiblement, et le courant peut recommencer à passer. Les interruptions, en admettant que l'évolution du changement de courant soit accomplie pendant que le centre de la bobine parcourt un arc d'un millimètre, n'ont d'ailleurs qu'une durée d'un dix-millième de seconde.

Les pôles de la lampe étant alternativement de sens contraire, il en résulte que les deux charbons s'usent également. La lumière électrique tourne, pour ainsi dire, continuellement autour des charbons et éclaire successivement chaque point de l'horizon avec des variations d'intensité assez considérables.

Les machines de *l'Alliance* sont employées au phare de la Hève, au phare Gris-Nez près de Calais, aux phares de Cronstadt, d'Odessa, etc.; elles ont été expérimentées sur plusieurs navires et dans divers locaux industriels. Elles vont très-bien et exigent peu de force motrice. Cependant elles ne se propagent pas, et bien que le brevet français soit dans le domaine public, personne autre que la compagnie elle-même ne songe à en construire.

Cette situation toute spéciale d'un bon appareil qui ne peut se vulgariser tient à une foule de causes qu'il est inutile de relater ici. Disons seulement que le prix de ces machines est trop élevé et que l'emplacement qu'elles exi-

gent est trop considérable pour que l'industrie en puisse tirer un parti réellement avantageux. On verra, en effet, dans le chapitre consacré au prix de revient de l'éclairage électrique, le rôle important que jouent les frais de premier établissement pour l'installation des machines magnéto-

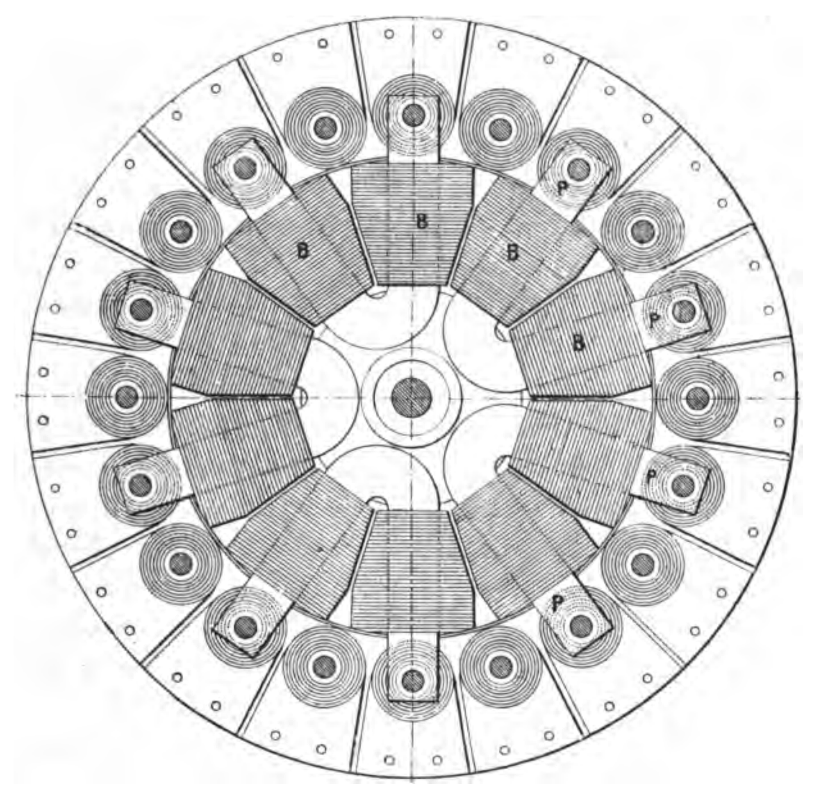


Fig. 18. Machine de Holmes.

électriques et de leurs régulateurs. Chacun sait, d'autre part, combien l'emplacement est précieux dans la plupart des manufactures ou des ateliers de construction.

M. Holmes, physicien anglais, qui s'est beaucoup occupé des machines magnéto-électriques destinées à la production de lumière, a fait breveter plusieurs dispositions originales, dont la plus récente (5 juin 1869) est représentée figure 18.

Au lieu de faire tourner des bobines devant des aimants ou des électro-aimants, M. Holmes fait tourner les aimants ou électro-aimants devant les bobines. Il emploie une partie du courant produit, pour magnétiser les électro-aimants et couple les bobines de telle sorte qu'il peut prendre plusieurs courants indépendants, et par la suite, produire plusieurs lumières indépendantes avec la même machine.

Ainsi, au lieu de faire tourner les bobines à induire devant les inducteurs, M. Holmes fait tourner les inducteurs et laisse fixes les pièces induites. C'est un retour à la machine Pixii, qui peut avoir sa raison d'être pour certaines applications, mais qui n'a qu'une importance secondaire dans la généralité des cas. Nous ne signalons cette machine que pour donner une idée de la voie suivie par M. Holmes dans ses recherches sur l'éclairage électrique.

L'analogie qui existe entre cette dernière machine et la machine de *l'Alliance* nous a amené à la décrire tout de suite. Nous ne nous sommes pas plus préoccupé de l'ordre chronologique des inventions que nous ne l'avions fait pour la machine Niaudet, plus récente encore; mais il est utile de faire observer ici que le fonctionnement de la machine Holmes est basé sur l'emploi d'électro-aimants excitateurs et sur les effets du *magnétisme rémanent* ou *résiduel* qui furent mis en usage avant lui par plusieurs physiciens.

L'exposition de 1867 renfermait deux machines magnéto-électriques à courants alternatifs, extrêmement remarquables, dont nous allons dire quelques mots. Elles venaient l'une et l'autre d'Angleterre, et leurs inventeurs, MM. Wilde et Ladd, le premier surtout, sont deux physiciens connus et appréciés du monde entier.

La machine Wilde (fig. 19) se compose de deux appareils Siemens superposés et de grandeurs inégales, avec cette modification que, dans le plus grand, l'aimant est remplacé par un fort électro-aimant. La petite machine supé-

rieure a pour but de faire naître le magnétisme dans l'électro-aimant : c'est pour cette raison qu'on la désigne souvent sous le nom de *machine excitatrice*. Entre les deux branches de l'aimant tourne une bobine longitudinale qui

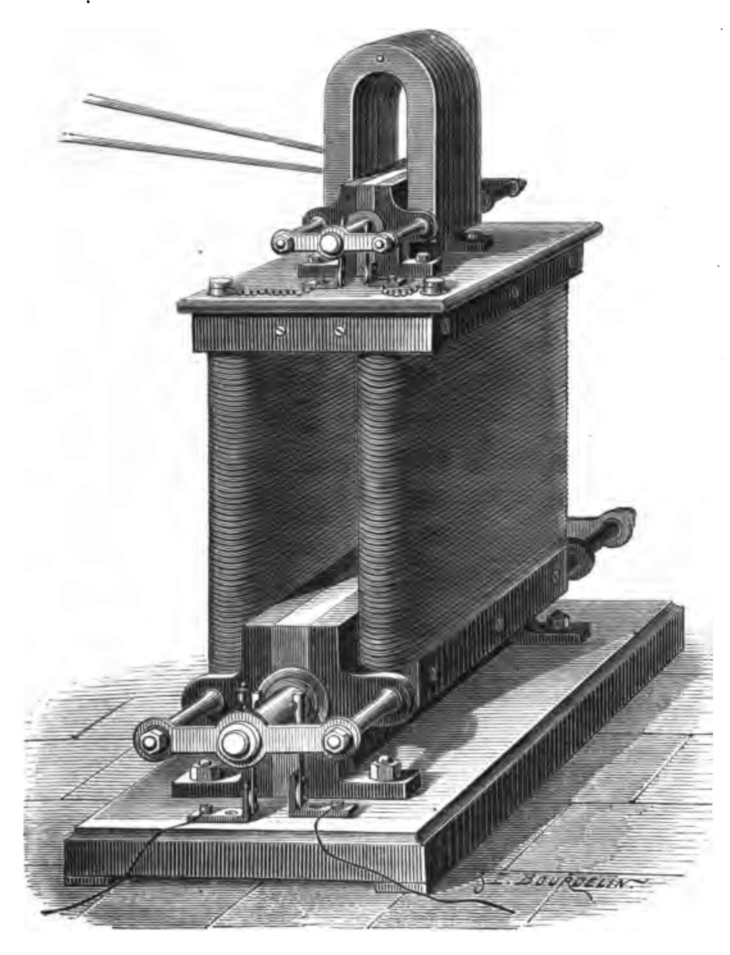


FIG. 19. Machine de Wilde.

développe des courants alternatifs, lesquels sont redressés par un commutateur et conduits aux électro-aimants par des fils métalliques aboutissant à deux bornes spéciales.

Au-dessous est placé le grand électro-aimant : ses deux

branches sont formées par de grosses plaques de tôle, et le coude du fer à cheval est remplacé par une plaque de fer qui porte l'excitateur; les pôles de cet électro-aimant sont dans des masses de fer, séparées par une plaque de cuivre, et formant une cavité cylindrique dans laquelle tourne la seconde bobine de Siemens. On nomme *générateur* cette partie de l'appareil.

Les deux bobines sont exactement semblables; la plus grande a un diamètre triple de l'autre. A ses pôles sont adaptés les fils du conducteur extérieur.

Le fil de cuivre isolé qui enveloppe les branches du gros électro-aimant aboutit aux bornes spéciales de l'excitateur.

A l'aide de deux courroies de transmission et d'un moteur convenable, on fait tourner les deux bobines, la petite avec une vitesse de 2 400 tours à la minute, la grande avec une vitesse de 1 500 tours à la minute. Alors les courants induits dans l'excitateur entretiennent le gros électro-aimant fortement aimanté, et les courants induits dans le générateur sont utilisés en dehors. Leur intensité est considérablement supérieure à celle des courants de l'excitateur.

C'est là une très-remarquable disposition qui présente des avantages considérables sur les machines précédentes, surtout au point de vue des décompositions chimiques: aussi les applications en sont-elles très-nombreuses en Angleterre. Il en aurait été de même en France si MM. Christofle et Ce, qui essayèrent simultanément la machine Wilde et celle de Gramme en 1872, n'eussent reconnu que cette dernière était supérieure à la machine anglaise.

MM. Siemens et Wheatstone ont combiné des machines magnéto-électriques sans aimants permanents dont on peut lire les descriptions dans les Bulletins de la Société royale de Londres (année 1867), et qui résolvent l'important problème de la conversion de la force dynamique en

électricité sans l'aide du magnétisme permanent. M. Ladd, vers la même époque, imagina la machine qui porte son nom.

La machine de Ladd (fig. 20) se compose de deux gros électro-aimants droits et parallèles, aux extrémités desquels sont placées deux bobines Siemens de grosseurs différentes. La petite bobine excite les électro-aimants, lesquels réagissent sur la grosse bobine qui fournit l'électricité utilisable.

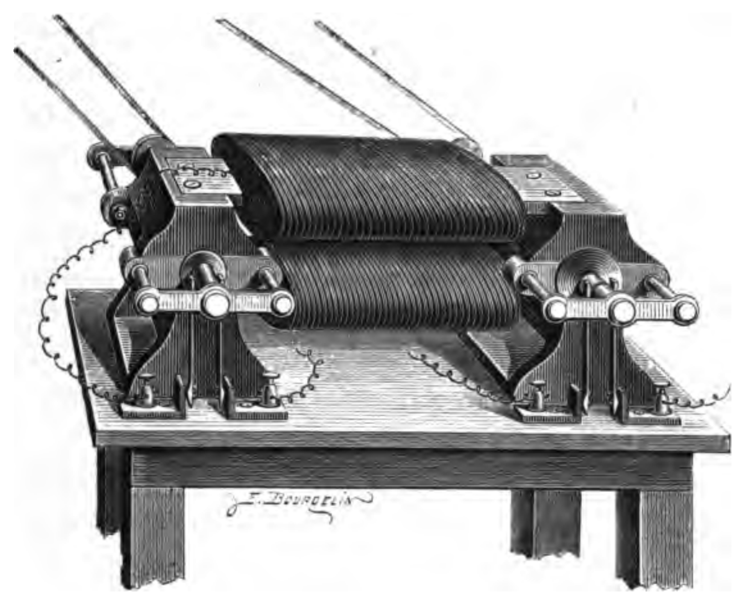


FIG. 20. Machine de Ladd.

Les fils des électro-aimants sont réunis de manière que les pôles contraires soient en regard lorsqu'un courant isolé y passe. Les extrémités libres de ces fils aboutissent aux boutons d'où partent les recueilleurs de courant de la petite bobine.

Le principe sur lequel repose la machine Ladd, observé tout d'abord par Siemens et Wheatstone, est celui-ci : lorsqu'une bobine tourne entre les pôles d'un électro-aimant, si celui-ci est le siége d'un courant, il se développe dans la

bobine un courant induit d'autant plus intense que la vitesse est plus grande et le magnétisme plus puissant. Si l'on emploie une partie du courant induit pour exciter l'électro-aimant, les choses se passent exactement comme si l'électro-aimant était excité par une machine spéciale, ainsi que cela a lieu dans les machines Wilde. Et, dans ce dernier cas, la machine venant à s'arrêter, il reste toujours un peu de magnétisme dans les électro-aimants. Ce magnétisme *résiduel* ou *rémanent*, quelque faible qu'il soit, fait naître un petit courant électrique dans la bobine, courant qui, envoyé dans l'électro-aimant, augmente sa puissance attractive. L'électro-aimant, devenant plus fort, réagit sur la bobine et le courant électrique croît de plus en plus pour atteindre bientôt le maximum correspondant à la vitesse de la bobine et à la quantité de fer et de cuivre employée dans la construction de l'appareil. Rien de plus admirable que cette multiplication d'électricité, que cette réaction d'effets les uns sur les autres, que cette transformation de travail en électricité sans autre intermédiaire que des pièces métalliques tournant devant d'autres pièces métalliques.

Pour qu'une semblable machine puisse fonctionner, il faut naturellement admettre que les électro-aimants ont reçu une excitation initiale, soit par une pile, soit par une deuxième machine; c'est ce qui a lieu ordinairement. Cependant Siemens a fait le premier la remarque suivante : au lieu d'employer la pile pour provoquer l'action accumulatrice de la machine, il suffit de toucher les barreaux de fer doux avec un aimant permanent, ou de les placer dans une position parallèle à l'axe magnétique de la terre.

En pratique il n'y a même pas besoin de s'occuper de l'orientation de la machine, car le magnétisme terrestre agit toujours un peu sur les électro-aimants, et il suffit d'un soupçon de magnétisme pour servir d'initiateur à des torrents d'électricité. L'esprit émerveillé se perd lorsqu'on

songe à cette succession de découvertes qui se complètent l'une par l'autre et qui montrent qu'avec un appareil de petites dimensions on produirait une source d'électricité infinie, si la matière pouvait résister à des vitesses infinies.

Nous mentionnerons encore les deux machines de M. Lontin, dont quelques journaux se sont occupés l'année dernière. L'une est formée de plusieurs bobines montées sur un disque en fer qui tourne devant les pôles d'un électro-aimant fixe. La pièce tournante a la forme d'un pignon d'engrenage. Les courants sont recueillis comme dans la machine Niaudet.

M. Alfred Niaudet, c'est ici l'occasion de le dire, est le premier qui ait eu l'idée de faire tourner une série de bobines devant deux pôles magnétiques : les machines multiples de *l'Alliance* et de Holmes ont autant de pôles que de bobines et autant d'inversions de courants que d'aimants, tandis que la machine Niaudet n'a que deux pôles magnétiques et, par suite, une seule inversion de courant pour chaque révolution de l'arbre.

MM. Niaudet et Lontin ont réalisé ce principe avec quelques différences dans les détails. Ainsi M. Niaudet a mis des plateaux en bois et des aimants permanents, M. Lontin des plateaux en fer et des électro-aimants ; le premier a disposé ses bobines parallèlement à l'axe, le second a préféré les mettre perpendiculairement, etc. ; mais l'un et l'autre ont fait tourner un grand nombre de bobines devant deux pôles uniques.

Croyant que la lumière est produite plus avantageusement avec des courants alternatifs qu'avec des courants continus (ce qui est tout l'opposé de la vérité), M. Lontin a fait construire récemment une deuxième machine ayant une grande analogie avec celle de Holmes et il a réussi, avec cette machine, à alimenter plusieurs régulateurs simultanément. Nous n'avons pu nous procurer aucune mesure

photométrique sur les lumières obtenues, on nous a seulement affirmé que la force motrice employée était assez grande par rapport à l'intensité lumineuse.

M. Lontin est un travailleur, un chercheur passionné; il a déjà fait construire un grand nombre d'appareils magnéto-électriques et plusieurs régulateurs de lumière; il a pris une foule de brevets depuis quinze ans; cependant nous ne connaissons pas une seule application d'éclairage électrique faite d'après ses procédés. Certes nous savons par expérience que les difficultés sont grandes et qu'il faut beaucoup de temps et beaucoup d'argent pour les résoudre, mais nous n'en sommes pas moins surpris du peu de succès pratique des travaux de cet inventeur.

La machine Gramme dont nous allons aborder l'analyse résume tous les perfectionnements de celles qui l'ont précédée et apporte un élément de premier ordre à la science de l'électro-magnétisme.

CHAPITRE V.

MACHINE MAGNÉTO-ÉLECTRIQUE GRAMME.

Succès obtenu par la machine Gramme. — Principe sur lequel elle repose. — Analyse des effets obtenus avec un électro-aimant circulaire. — Action du fer doux sur les spires de cuivre. — Action des aimants permanents. — Manière de recueillir les courants. — Bobines partielles. — Ensemble d'une machine de démonstration. — Machine verticale pour galvanoplastie. — Machine horizontale pour galvanoplastie. — Machine de laboratoire à aimant Jamin. — Machine à pédale. — Application à la médecine. — Applications diverses. — Transport des forces motrices à distance. — Revendication et contrefaçon. — Machine Worms de Romilly. — Machine Pacinotti. — Services rendus à l'industrie par M. Gramme.

La machine conçue par M. Gramme est essentiellement différente de celle de Clarke et, par conséquent, de toutes celles qui en sont dérivées. Elle constitue une œuvre à part, susceptible des applications les plus variées, aussi le nom de l'inventeur est-il aujourd'hui connu dans les deux mondes et ses travaux sont justement appréciés par tous es savants. A peine sa première machine était-elle réalisée, qu'une société anglaise lui achetait les brevets anglais et américains, que la Société d'encouragement lui décernait une médaille d'or et un prix de 3 000 francs et qu'un grand nombre d'industriels lui commandaient des appareils. Depuis quatre ans, date de la première application, le succès a été en croissant ; l'inventeur a été récompensé à Lyon, à Vienne, à Moscou, à Linz, à Philadelphie. Partout où il a présenté sa machine elle a eu le privilége de captiver l'attention générale. Plus de 400 machines à aimants ou à électro-aimants ont été livrées, et, loin de se ralentir, les demandes deviennent de plus en plus nombreuses. L'éclairage électrique, qui n'existait pas, industriellement parlant, avant l'invention

de M. Gramme, est entré aujourd'hui dans le domaine des choses pratiques, grâce à l'admirable machine dont nous allons étudier le principe et les effets.

Principe de la machine.

Pour comprendre le principe de la machine Gramme, il faut se reporter à l'expérience d'induction magnéto-électrique la plus simple qu'on puisse faire; mais il faut l'analyser plus complétement qu'on ne le fait d'ordinaire.

Considérons (fig. 21) un barreau aimanté AB et une spire de fil conducteur, en mouvement réciproque. Si l'on approche la spire du barreau à partir de la position éloi-



Fig. 21.

gnée X, il s'y produit un courant d'induction. Examinons de près ce qui se passe à mesure que le barreau entre dans la spire par une série de mouvements successifs.

On observe qu'à chacun de ces mouvements correspond un courant d'induction et que ces courants sont de même sens jusqu'au moment où la spire arrive en face de la ligne neutre, c'est-à-dire au milieu M du barreau AB; et qu'ils sont de sens opposé, si le mouvement continue dans le même sens au-delà de ce point.

Ainsi, dans le parcours entier de la spire sur l'aimant on distingue deux périodes distinctes : dans la première moitié du mouvement les courants sont de sens direct, dans la seconde ils sont de sens inverse.

On peut voir dans le mémoire de M. Gaugain, publié

dans les ***Annales de chimie et physique*** (mars 1873), et auquel nous empruntons cette analyse intéressante, l'explication élémentaire qu'il donne de ce phénomène en assimilant l'aimant à un solénoïde.

Si, au lieu de marcher de gauche à droite, comme nous l'avons fait, on marche de droite à gauche, tout se passe de la même façon, mais les courants sont de sens opposés.

Examinons maintenant le cas complexe représenté par la figure 22. Deux aimants AB et B'A' sont placés bout à bout, en contact par des pôles de même nom BB'. L'ensemble se présente comme un aimant unique avec un point conséquent au milieu.

Si la spire se meut par rapport à ce système, on voit clai-

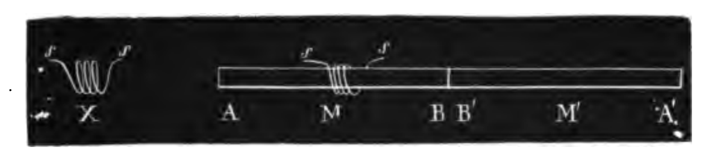


Fig. 22.

rement, par ce qui précède, que cette spire est parcourue par un courant positif pendant le premier quart du mouvement (entre A et M), par un courant négatif dans le second quart (de M en B), encore par un courant négatif dans le troisième quart (de B' en M'), et enfin par un courant positif pendant le dernier quart (de M' en A'). Ainsi c'est aux points neutres que le courant change de sens.

En remplaçant les aimants droits par deux aimants demi-circulaires (fig. 23) mis bout à bout, pôles de même nom en regard, on crée deux pôles conséquents AA', BB', et les choses se passent exactement comme précédemment. La spire allant de A en M est parcourue par un courant positif, de M en B par un courant négatif, de B' en M' par un courant négatif et de M' en A' par un courant positif. Les

points neutres se trouvent alors sur une ligne MM' perpendiculaire à la ligne des pôles AB.

La partie essentielle de la machine Gramme est un anneau en fer doux garni d'une hélice en cuivre, isolée, en-



Fig. 23.

roulée sur toute l'étendue du fer. Les extrémités de cette hélice sont soudées ensemble de manière à former un fil continu sans bout sortant ni bout rentrant (fig. 24).

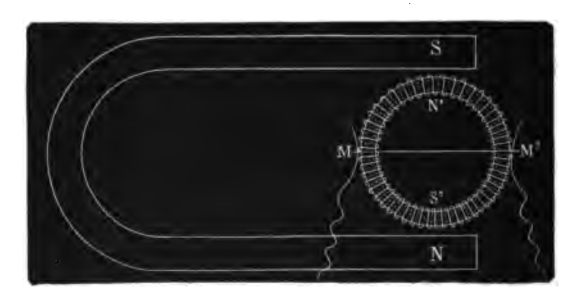


Fig. 24.

Le fil est dénudé extérieurement, et la partie nue forme une bande étroite régnant dans toute la circonférence. Des pièces frottantes viennent s'appuyer en M et M' précisément sur la partie dénudée de l'hélice.

Dès qu'on place l'anneau ainsi constitué devant les pôles S et N d'un aimant quelconque, le fer doux s'aimante

par influence et il naît dans l'anneau deux pôles conséquents N' et S' opposés aux pôles S et N. Si l'anneau tourne autour des pôles de l'aimant permanent, les pôles conséquents développés dans l'anneau resteront toujours en regard des pôles N et S, ils se déplaceront donc dans le fer lui-même, avec une vitesse égale et de sens contraire à celle de l'anneau. Quelle que soit la rapidité du mouvement, les pôles N'S' resteront donc fixes dans l'espace et chaque partie de la spire de cuivre passera successivement devant eux.

En considérant un élément de cette spire, nous savons, d'après ce qui précède, qu'il sera le siége de courant d'un certain sens en parcourant le chemin MSM' et d'un courant de sens inverse au premier en parcourant le chemin M'NM. Et, comme tous les éléments de la spire possèdent la même propriété, toute la partie de cette spire placée au-dessus de la ligne MM' sera parcourue par un courant de même sens et toute la partie placée au-dessous de cette ligne sera parcourue par un courant de sens inverse au précédent.

Ces deux courants sont évidemment égaux et opposés, ils se font donc équilibre. C'est exactement ce qui se passe lorsqu'on accouple en opposition deux piles voltaïques composées d'un même nombre d'éléments semblables. Or, pour utiliser des piles en opposition, on n'a qu'à mettre les extrémités d'un circuit en communication avec les pôles communs des deux piles; dès lors les courants des deux piles ne sont plus en opposition, ils sont associés en quantité.

C'est aussi de cette façon que M. Gramme recueille les courants développés dans l'anneau de sa machine. Il établit des collecteurs sur la ligne MM' où viennent se rencontrer les courants de sens contraire.

Si, dans le cas de deux piles voltaïques en opposition, on mettait les extrémités d'un circuit en communication avec le milieu de chaque pile, au lieu de les mettre aux pôles

communs, les courants s'annuleraient. De même, lorsqu'on met les recueilleurs d'une machine Gramme sur la ligne des pôles, on n'obtient aucun courant.

Nous n'avons analysé jusqu'ici que l'action de l'anneau en fer doux, magnétisé par l'influence de l'aimant permanent, sur la spire de cuivre qui l'entoure ; il nous reste à examiner les effets produits directement par les pôles de l'aimant permanent sur la bobine, que nous supposons d'abord dépourvue de fer et tournant comme précédemment.

Reportons-nous à l'expérience du barreau aimanté agissant dans la spire de cuivre et sortons celle-ci du barreau pour la faire mouvoir latéralement : on remarquera que toutes les parties de la spire regardant le barreau, jusqu'au milieu de cette spire, sont dans une certaine direction, tandis que les parties opposées sont placées dans une direction inverse. L'aimant fera donc naître un courant d'un certain sens dans les premières demi-spires et un courant en sens inverse dans les secondes. L'intensité du premier sera évidemment supérieure à l'intensité du second, puisque les parties influencées sont beaucoup plus rapprochées de l'aimant. La résultante de ces deux actions sera un courant très-faible, qui viendra naturellement s'ajouter à celui que nous avons analysé plus haut.

Mais lorsque le fer sera dans l'intérieur de la bobine, il empêchera le magnétisme de l'aimant permanent d'agir sur la seconde partie des spires, et l'effet total augmentera sensiblement.

Ce n'est pas tout. L'anneau en fer doux a encore pour effet de rétrécir le champ magnétique de l'aimant permanent et de lui donner par suite une puissance inductrice beaucoup plus considérable. C'est même, d'après M. Gramme, la cause principale de la production des courants dans sa machine.

En résumé, le fer doux agit de trois manières distinctes :

comme inducteur, comme écran magnétique et comme excitateur de l'aimant permanent.

Il se produit, par le mouvement de la bobine, des effets directs très-complexes exerçant les uns sur les autres des réactions encore plus complexes; mais les notions précédentes suffiront, nous l'espérons, pour donner une idée assez exacte de la manière dont naissent les courants; c'est le point important. Une dissertation plus longue fatiguerait le lecteur et nous éloignerait de notre but.

Revenons à la manière de recueillir les courants.

Nous avons vu qu'en plaçant les pièces frottantes sur une ligne perpendiculaire aux pôles on obtenait tout le courant développé dans la bobine et qu'en se mettant sur la ligne des pôles on n'obtenait rien. En plaçant les pièces frottantes près l'une de l'autre, pourvu toutefois qu'on ne les mette pas dans une ligne parallèle aux pôles, on aura un courant d'autant plus faible que les recueilleurs seront plus rapprochés, et ce courant sera d'un certain sens, direct par exemple, si les deux recueilleurs sont dans les parties MS et M'N, et inverse, si les recueilleurs sont dans les parties SM' et MN. Cela se conçoit facilement en se rapportant à la comparaison des piles voltaïques.

Il est maintenant facile de concevoir qu'on peut prendre plusieurs courants sur le même anneau, ou associer plusieurs machines complètes en tension ou en quantité. Tout se passe comme avec les piles voltaïques et les courants obtenus sont de même nature.

Dans la pratique, M. Gramme ne dénude pas le fil de l'anneau, il construit son appareil de manière à lui assurer toute la stabilité et la solidité nécessaires, surtout pour les applications industrielles.

On sait que dans certains électro-aimants droits, notamment dans ceux des puissantes bobines d'induction, le fil est enroulé en bobines distinctes, placées les unes à côté

des autres en chaîne, c'est-à-dire en tension : c'est aussi de cette façon qu'est distribué le fil sur l'anneau des machines de Gramme.

La figure 25 montre ces différentes bobines de fil, qui sont les éléments de cette source d'électricité, comme les couples voltaïques sont les éléments d'une pile voltaïque.

Pour rendre intelligible la construction de cet organe essentiel, nous le représentons complet dans une partie seulement ; dans une autre partie les bobines B ne sont figurées

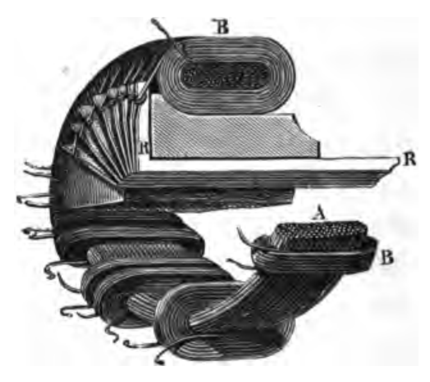


FIG. 25.

que une sur deux ; dans une autre partie enfin l'anneau de fer est laissé à nu et même coupé.

Généralement l'anneau A est exécuté en fil de fer, ce qui donne plus de sécurité, relativement à sa propriété de s'aimanter et de se désaimanter plus rapidement sans conserver de magnétisme lorsqu'il naît sous l'influence de l'aimant.

Des pièces rayonnantes R, isolées les unes des autres, sont rattachées chacune au bout sortant d'une bobine et au bout entrant de la bobine suivante. Les courants sont recueillis sur les pièces R comme ils le seraient sur le fil dénudé.

Lesdites pièces R sont recourbées à angle droit et leur

seconde partie, parallèle à l'axe, est logée à l'intérieur de l'anneau et le dépasse.

Dans le dessin d'ensemble (fig. 26), on voit les extrémités des pièces R rapprochées les unes des autres en un cylindre de petit diamètre, mais toujours isolées par des rubans de soie ou de toute autre matière isolante, interposés. On y voit également les balais frottant sur les pièces R

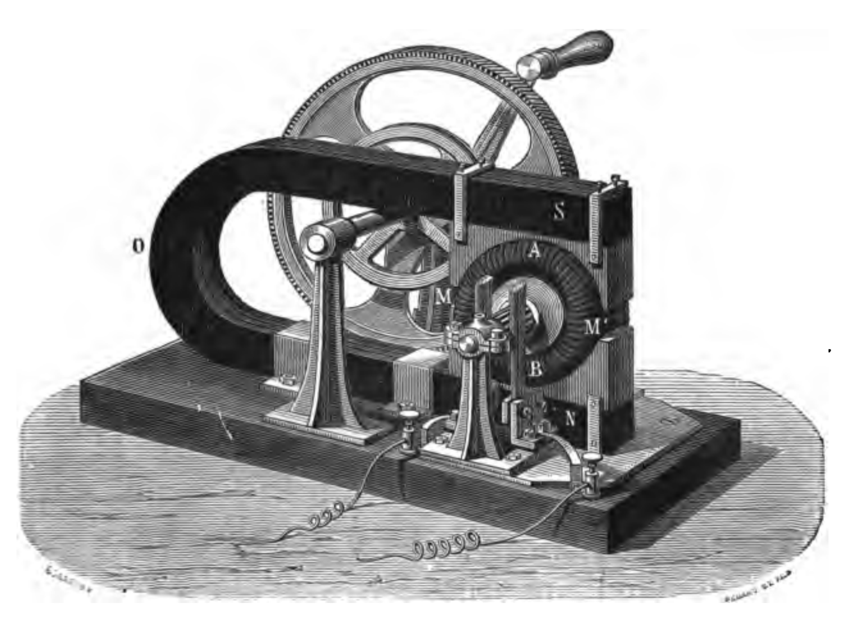


Fig. 26. Machine de démonstration.

dans le plan perpendiculaire à la ligne des pôles A et B; c'est-à-dire aux points milieux ou neutres M et M'.

En se reportant à ce qui a été dit du principe de la machine, il est aisé de comprendre qu'elle fournira des courants continus et que le sens du courant fourni changera avec le sens de la rotation.

La continuité du courant résulte manifestement de ce que le mouvement producteur de l'électricité est continu et de ce que le circuit n'est jamais rompu, parce que les frot-

teurs ou balais commencent à toucher à l'une des pièces R avant d'avoir abandonné la précédente, et leur nature flexible et multiple fait qu'ils touchent toujours par quelques-unes de leurs parties, sinon par toute leur largeur.

L'intensité du courant augmente naturellement avec la vitesse de rotation ; l'expérience nous a montré que la force électro-motrice mesurée par opposition est proportionnelle à la vitesse. Cette observation a été vérifiée plusieurs fois en France et en Angleterre, et notamment par l'inventeur.

Suivant les applications qu'il a en vue, M. Gramme modifie sa machine pour lui faire produire des effets de tension ou de quantité en enroulant sur l'anneau du fil fin ou gros; il paraît indubitable qu'à vitesse égale de l'anneau la tension sera proportionnelle au nombre de spires de fil; mais la résistance intérieure croît dans la même proportion, et dans la plupart des cas on obtient de meilleurs résultats en employant des fils gros. On comprend cependant que, si le circuit extérieur a une très-grande résistance, comme dans la télégraphie, il y aurait lieu d'employer des machines à fil fin.

Avant d'étudier la machine employée à l'éclairage et d'en faire connaître les nombreuses applications, nous allons passer rapidement en revue quelques types de machines Gramme destinés à d'autres fonctions.

Les machines pour galvanoplastie en usage chez MM. Christofle et Ce, Ranvier, Mignon et Rouart, Desclairs, Folie, Olsanski, Poure et Blanzy, Wohlwill, à la Société du Val d'Osne, etc., donnent d'excellents résultats.

La première machine, faite par l'inventeur lui-même, en 1872, et livrée à MM. Christofle et Ce, à Paris, a un bâti en bronze reposant sur une semelle en bois. Elle fonctionne depuis plus de cinq ans à l'entière satisfaction des acquéreurs. Elle n'a exigé aucune réparation, et tout son entre-

tien consiste dans la dépense de l'huile nécessaire à la lubrification des deux portées de l'arbre central.

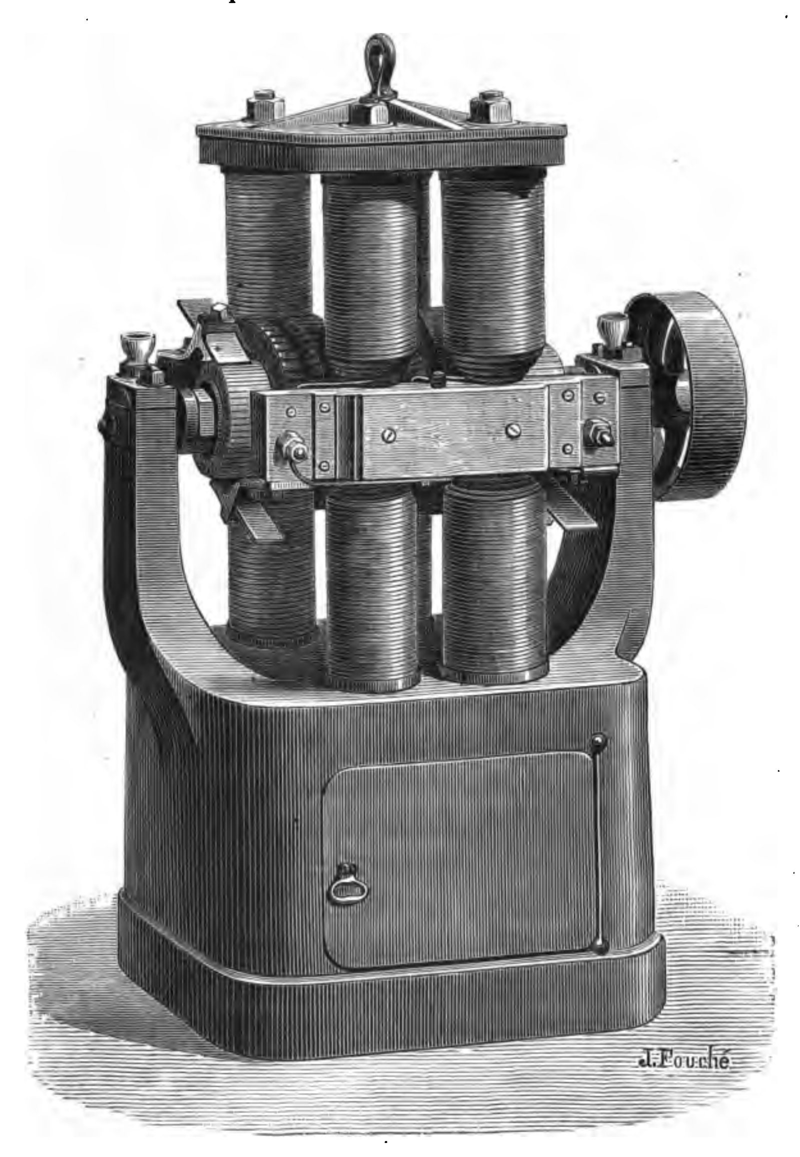


Fig. 27. Machine verticale pour galvanoplastie.

Sans rien changer à la partie électrique, l'inventeur construisit, à la fin de 1872, dix autres machines avec bâti

en fonte telles qu'elles sont représentées figure 27, et MM. Christofle et Ce achetèrent six de ces machines, lesquelles fonctionnent depuis cette époque dans leurs ateliers.

Ces machines pèsent 750 kilogrammes chacune, tout compris; elles possèdent quatre barres d'électro-aimants, deux bobines. Le poids du cuivre entrant dans leur construction est de 175 kilogrammes. Leurs dimensions sont de 1^{m},30 de hauteur et de 0^{m},80 dans la plus grande largeur. Elles déposent 600 grammes d'argent à l'heure et nécessitent, pour ce dépôt, une force de 75 kilogrammètres (exactement un cheval-vapeur).

A la fin de 1873, les calculs et les expériences de M. Gramme l'ont amené à combiner un nouveau type de machine à galvanoplastie, bien supérieur au précédent.

La machine dont il s'agit (fig. 28) n'a, en effet, qu'une bobine au lieu de deux, et deux barres d'électro-aimants au lieu de quatre.

Son poids total est de 177^{k},50; le poids du cuivre garnissant la bobine et les barres d'électro-aimants, de 47 kilogrammes. Ses dimensions sont de 0^{m},55 de côté sur 0^{m},60 de hauteur. Elle dépose, comme les anciennes, 600 grammes d'argent à l'heure. Sa marche est excellente en tous points, ainsi que l'ont constaté MM. Christofle et Ce. La force motrice nécessaire à son fonctionnement n'est plus que de 50 kilogrammètres.

Comparé au modèle de 1872, celui de 1873, qui est devenu définitif, possède donc les avantages suivants : 1° il exige un espace moitié moins grand pour son installation; 2° son poids total est réduit de plus des trois quarts; 3° le cuivre nécessaire à sa construction est réduit de près des trois quarts; 4° il économise 30 pour 100 de force motrice.

Ces perfectionnements ont été obtenus par la suppression de la bobine excitatrice, en mettant l'électro-aimant dans

le circuit même du courant : par la meilleure disposition des garnitures de cuivre aussi bien pour les bobines que pour les électro-aimants, et par une augmentation de vitesse n'ayant aucune conséquence fâcheuse sur la régularité de la marche et la durée des organes.

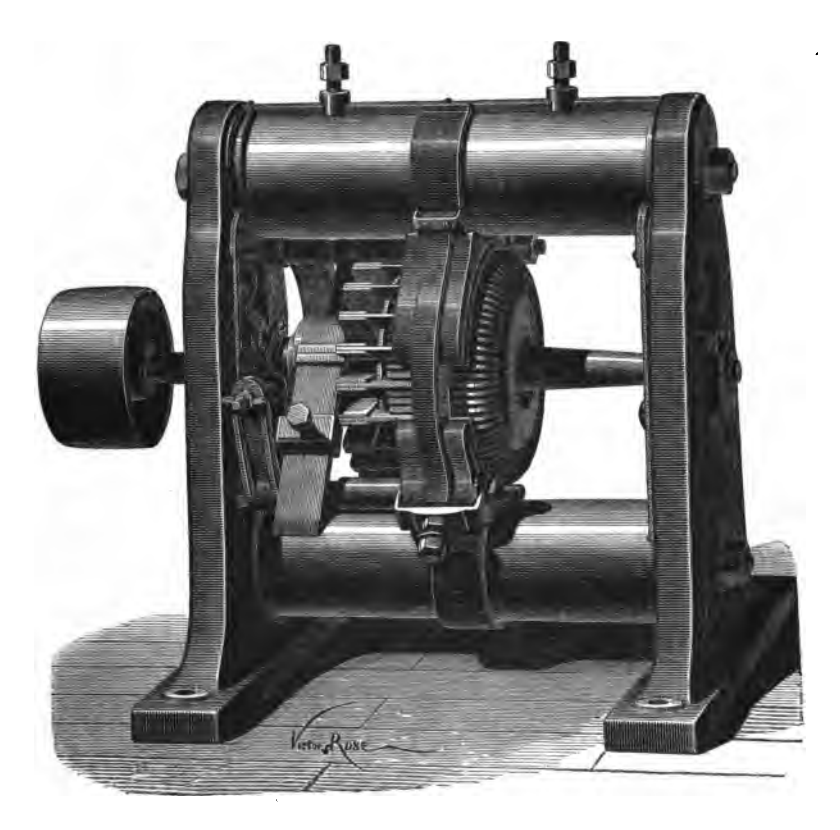


FIG. 28. Machine horizontale à galvanoplastie.

La garniture des électro-aimants, que M. Gramme faisait avec du fil rond, est aujourd'hui formée, pour les machines à galvanoplastie, d'une seule bande de cuivre mince, tenant toute la largeur d'une demi-barre d'électro-aimant, de sorte que cette garniture ne se compose en réalité que de quatre bandes formant chacune une spire unique.

La garniture de la bobine est faite avec du fil méplat très-épais, offrant une rigidité suffisante pour s'opposer aux effets de la force centrifuge, ce qui permet de faire tourner l'axe à 500 tours par minute, tandis que dans les anciennes machines la vitesse ne dépassait pas 300 tours. Aucune étincelle ne se produit au contact des balais métalliques et du faisceau des conducteurs soudés aux bobines. Ni l'anneau ni les électro-aimants ne s'échauffent. Les balais se règlent facilement, et peuvent se retirer du contact même pendant la marche.

Le bâti a une grande stabilité ; l'axe, peu chargé, est en acier ; ses portées ont un faible diamètre, ce qui occasionne une diminution considérable dans le travail du frottement. Les armatures sont solidement fixées aux barres d'électro-aimants, elles embrassent presque toute la circonférence de la bobine.

La disposition spéciale qui consiste à mettre l'électro-aimant dans le circuit pour supprimer la bobine excitatrice, a donné lieu à un phénomène de changement de pôle nuisible à la marche ; M. Gramme l'a combattu par une combinaison simple et très-pratique.

Lorsque les machines sont en mouvement, et que leur circuit est fermé sur des bains métalliques, les pôles restent les mêmes pendant tout le temps de la marche ; mais, dès qu'un arrêt se produit, par une cause accidentelle ou volontaire, un courant secondaire est aussitôt fourni par le bain, comme dans l'expérience avec la pile Planté, que tout le monde connaît. Ce courant, traversant les fils des électro-aimants excitateurs, leur donne un magnétisme contraire à celui qu'ils avaient précédemment : il en résulte que le magnétisme rémanent qui servirait de point de départ si l'on remettait en marche sans rien changer aux conducteurs, fournirait un courant renversé, et qu'on ferait un travail inverse ; c'est-à-dire que dans le cas d'argenture par

exemple, si une courroie venait à tomber, et qu'on la remît simplement en place, puisqu'on continue de fonctionner, on désargenterait les objets qui se trouveraient dans le bain. Pour obvier à ce grave inconvénient, M. Gramme a imaginé

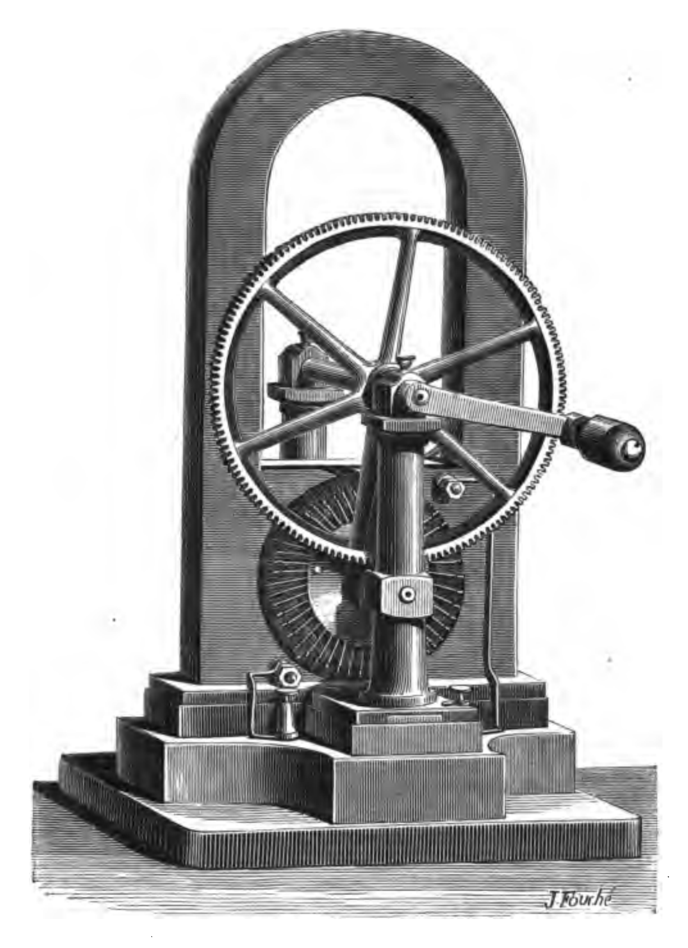


Fig. 29. Machine à aimant ordinaire.

de faire couper le courant automatiquement dès que la machine va moins vite ; il évite ainsi les courants secondaires, qui seuls occasionnent le changement des pôles. Quand, après un arrêt, on veut continuer le travail, il suffit

d'approcher des électro-aimants une petite lame métallique dite ***brise-courant***, pour refermer le circuit et pour que la machine reprenne son fonctionnement normal.

Le brise-courant, appliqué aux nouvelles machines, est une petite pièce mobile à contre-poids qui réunit les balais métalliques aux électro-aimants; tant que ceux-ci sont magnétisés, ils retiennent au contact le brise-courant; mais,

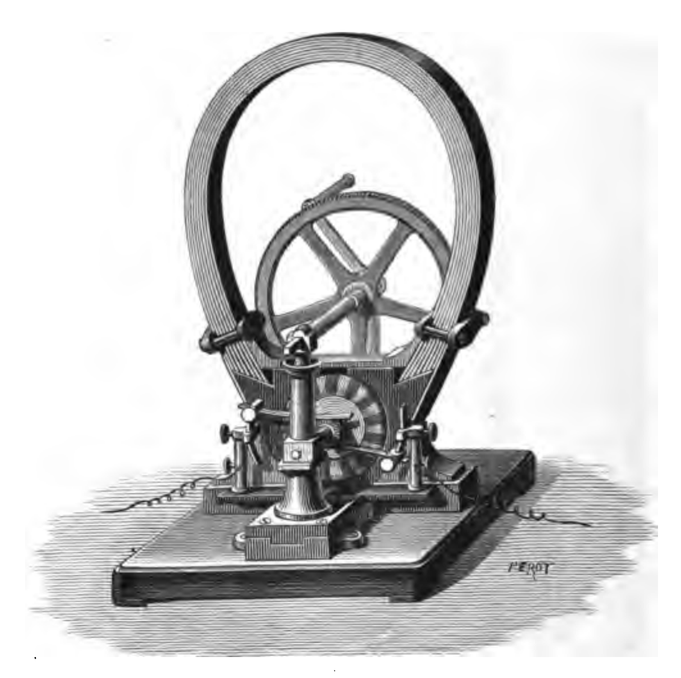


Fig. 30. Machine à aimant Jamin.

dès que la machine, en diminuant de vitesse, fait perdre le pouvoir attractif aux électro-aimants, le contre-poids fait basculer le brise-courant, et il n'y a plus de communication électrique entre l'anneau central et les électro-aimants. Aucun courant secondaire ne peut se former au moment de l'arrêt, et par conséquent les pôles restent les mêmes.

La construction des machines de démonstration a été

confiée à la célèbre maison Bréguet, de Paris, qui en a déjà fourni aux principaux laboratoires du monde entier. Le premier type de cet appareil était horizontal (fig. 26); il

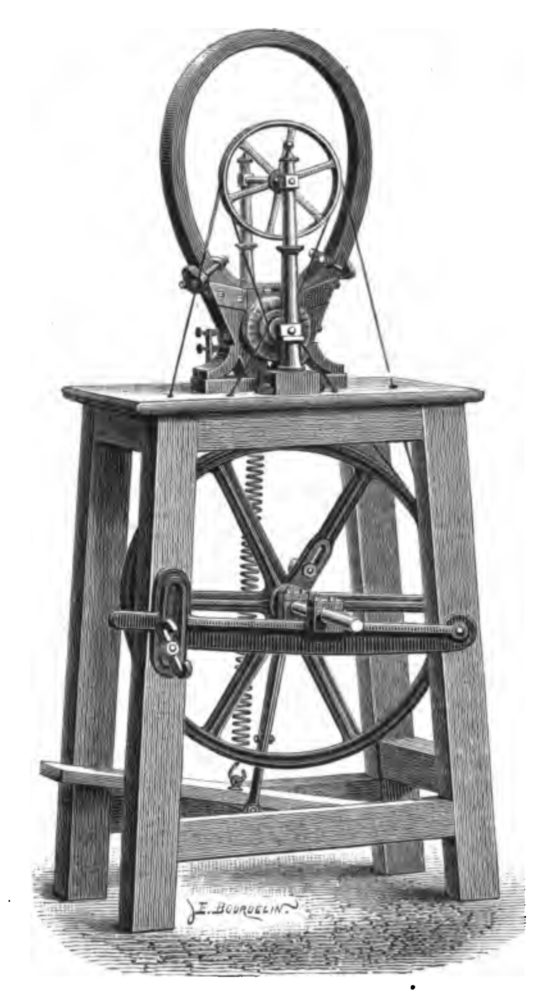


FIG. 31. Machine à pédale.

donnait un courant équivalent à peu près à 3 éléments Bunsen ordinaire. Il fut remplacé par une disposition plus rationnelle (fig. 29), qui, grâce à l'emploi d'excellents aimants d'Allevart, produisit 5 éléments sans changements

dans la bobine. Depuis l'invention, faite par M. Jamin, des aimants feuilletés, presque toutes les machines de laboratoire ont été construites avec des aimants de ce système. Les unes avec socle en bois (fig. 30), les autres avec pédale (fig. 31). Ces machines équilibrent aujourd'hui, grâce à la perfection de leur exécution, jusqu'à 8 éléments Bunsen ordinaires. Elles permettent de faire toutes les expériences d'un cours de physique : décompositions électro-chimiques, excitation des électro-aimants, excitation de la bobine d'induction, expériences d'Ampère (électro-dynamique), etc.

Tout le monde sait que l'embarras de monter quelques éléments de pile Bunsen retient souvent pour entreprendre une expérience destinée dans bien des cas à être de courte durée. On peut ajouter que la dépense faite pour le montage des piles n'est pas du tout insignifiante, tandis que la force musculaire de l'expérimentateur ou de ses aides est la seule dépense qu'entraîne l'emploi de la machine Gramme.

D'ailleurs, il y a des avantages très-nombreux à disposer d'une source d'électricité qu'on peut faire varier à volonté, et de laquelle on peut, en donnant un *coup de collier*, tirer momentanément beaucoup plus que ce qu'elle donne à la vitesse normale.

L'application à la médecine est plus facile encore et le temps seul a manqué pour en répandre l'usage ; car la machine Gramme peut, avec quelques modifications, servir dans tous les cas pour lesquels les médecins emploient l'électricité. Elle permet la cautérisation au moyen d'un fil de platine rougi. Elle se prête à la décomposition chimique des tissus qui s'emploie à la résolution de certaines tumeurs. Elle fournit un courant continu et peut être mise en mouvement par le malade lui-même, dont on soumet un organe au flux électrique continu. Elle permet d'exciter la bobine d'induction, et elle peut donner par elle-même des chocs par la simple addition d'un interrupteur placé sur l'axe de

l'anneau; en effet, l'extra-courant de rupture fourni par cette machine a une tension considérable, ce qui se comprend aisément, puisque la machine présente un fil enroulé un grand nombre de fois sur un fer doux.

M. le docteur Moret, de Paris, qui a beaucoup étudié les questions d'électricité appliquée à la thérapeutique, a déclaré, après avoir essayé une petite machine de Gramme, qu'elle réunissait toutes les conditions voulues pour cet usage et qu'elle deviendrait, dès le début d'une fabrication spéciale, la machine électro-médicale universelle.

Nous ne pouvons pas entrer dans le détail de toutes les applications dont est susceptible la machine Gramme : M. Merle, à Alais, l'emploie pour purifier la soude; MM. Collette l'ont installée dans une sucrerie pour retirer les sels de la mélasse et en recueillir du sucre; M. de Méritens l'emploie avec succès pour son système de tannage perfectionné, M. Wohlwill, d'Hambourg, pour le traitement du cuivre, etc. Citons seulement deux de ces applications diverses.

M. Villiers, directeur de la Société anonyme des houillères de Saint-Etienne, a imaginé une fermeture pour les lampes de sûreté des mineurs, telle que les ouvriers ne peuvent absolument pas l'ouvrir, tandis que le seul lampiste, pourvu d'un électro-aimant assez fort peut faire l'ouverture. Ces lampes sont très-simplement combinées; un verrou les ferme; ce verrou est placé au fond d'une double cavité présentée par le fond de la lampe, et telle que les deux pôles de l'électro-aimant spécial dont est armé le lampiste peuvent le tirer, tandis que ni couteau ni autre procédé entre les mains des mineurs ne permet de le mouvoir. Cette lampe fonctionnait depuis quelques années; on excitait les électro-aimants des lampistes avec des piles au bichromate de potasse et à l'acide sulfurique; mais elles donnaient tant d'ennuis, tant d'embarras, que M. Chansselle, ingénieur en chef de la Société, entendant parler de

la machine Gramme, songea à l'employer. La machine est montée sur une table au-dessous de laquelle est placé un volant de tour et une pédale; en avant de la table se présentent les deux pôles de l'électro-aimant. Le lampiste, assis, tourne au pied sa machine comme un tourneur, et ses mains sont libres pour manier ses lampes. Six ou sept machines sont en service à Saint-Etienne et deux à Montceau-les-Mines, chez MM. Chagot et C[e].

M. Lubéry a eu l'idée heureuse d'employer l'électricité pour arrêter automatiquement les métiers à tricoter, quand une aiguille se fausse ou qu'un fil se casse; il en a fait l'application à quarante métiers à l'usine de Langlée, près Montargis, et y a disposé une machine Gramme en remplacement de piles à acides qui lui donnaient les plus grands ennuis. Pendant huit mois la machine Gramme a tourné 10 heures par jour à raison de 1 500 tours par minute, sans usure sensible; et tournerait encore sans des circonstances personnelles dont le détail n'aurait rien à faire ici. Au lieu de quatre ouvriers pour surveiller quarante métiers, on a aujourd'hui à Langlée, comme on avait autrefois, un homme par métier. Les fabricants de tricot, si nombreux à Troyes notamment, se préoccupent de réaliser l'importante économie de main-d'œuvre qui leur est indiquée par cette expérience.

La machine Gramme, comme toutes les autres machines magnéto-électriques, a pour fonction principale de transformer la force mécanique en électricité, mais elle peut encore transformer l'électricité en force motrice et servir dans ce cas de machine électro-magnétique. Il suffit de mettre une source électrique quelconque en communication avec les balais métalliques pour que l'anneau central se mette immédiatement en mouvement.

Comme nous venons de dire qu'il suffit de très-peu de force motrice pour équilibrer un grand nombre d'éléments

voltaïques, il en résulte que, réciproquement, il faudra beaucoup d'éléments voltaïques pour produire peu de travail mécanique. C'est ce qui explique l'insuccès de tous les inventeurs qui ont jusqu'à ce jour cherché à produire la force motrice par l'électricité.

La machine à courant continu, n'ayant ni bielle, ni manivelle, ni point mort, convient éminemment pour des expériences de transformation d'électricité en travail et elle donne un très-grand effet utile, comme nous allons l'expliquer.

L'inventeur a fait, devant nous, l'expérience suivante :

Une machine magnéto-électrique recevait le mouvement d'un moteur à vapeur et nécessitait pour sa mise en marche une force égale à 75 kilogrammètres mesurée au frein; l'électricité produite était envoyée dans une deuxième machine, qui, également munie d'un frein de Prony, produisait 39 kilogrammètres, c'est-à-dire un peu plus de la moitié de la force primitive. Comme l'électricité passait par deux machines, ou, ce qui revient au même, comme il y avait une double transformation de travail en électricité et d'électricité en travail, chaque machine, bien qu'elle n'eût pas été faite pour cet usage, avait un rendement supérieur à 70 pour 100.

Nous avons répété l'expérience avec d'autres moteurs électriques et nous n'avons jamais obtenu un rendement supérieur à 20 pour 100. La machine Gramme est certainement le moteur électrique le plus parfait qui ait jamais été combiné.

On pourrait très-bien, au moyen de deux machines Gramme, transporter des forces motrices à grande distance, et nous avons vu à l'exposition de Philadelphie une pompe centrifuge Neut et Dumont actionnée par une machine Gramme qui recevait l'électricité d'une deuxième machine mue par un moteur; mais c'est là une nouvelle branche

d'applications qui n'a pas encore été assez étudiée pour qu'on puisse la considérer comme absolument praticable au point de vue économique. C'est une idée grandiose, qui a seulement besoin d'être mûrie pour ouvrir de nouveaux horizons à une foule d'industries.

Comme toutes les grandes inventions, la machine Gramme a donné lieu à plusieurs revendications de priorité et a trouvé immédiatement des imitateurs plus ou moins honnêtes et plus ou moins heureux. De ces derniers nous ne dirons rien, car ils n'ont rien produit de bon jusqu'à présent et il est inutile de publier leurs noms, mais nous ne pouvons passer sous silence les revendications de MM. Worms de Romilly et Pacinotti, qui ont été adressées à l'Académie des sciences.

M. Worms de Romilly a exécuté, en 1866, une machine analogue à celle de M. Gramme; mais au lieu d'enrouler le fil de cuivre sur l'anneau en fer, toujours dans le même sens, M. Worms enroulait ses bobines partielles dans des sens différents; il était donc forcé de redresser les courants produits. M. Pacinotti a construit pour l'université de Pise, en 1861, une machine électro-motrice que nous avons vue en 1873 à l'exposition de Vienne, laquelle est identique, comme principe, à celle de M. Gramme. M. Pacinotti indique même dans *Il Nuovo cimento* de 1864 qu'en renversant la fonction de sa machine on peut obtenir un appareil magnéto-électrique; seulement l'étude et la construction de cette machine sont si défectueuses, qu'elle n'a jamais donné de bons résultats, ni fait supposer que son principe fût supérieur à celui de toutes les autres machines. Il a fallu l'apparition de la machine Gramme, en 1871, pour que M. Pacinotti lui-même se souvînt de sa conception et fît une revendication, très-juste d'ailleurs, au point de vue scientifique.

M. Figuier raconte, dans *les Merveilles de la science*, com-

ment dix-huit ans avant la célèbre expérience d'Œrsted, relative à l'influence d'un courant électrique sur un aimant, Romagnosi avait remarqué *que le galvanisme faisait décliner l'aiguille aimantée*, sans que personne alors, pas plus Romagnosi que les physiciens contemporains, n'eût entrevu les conséquences immenses de cette découverte, tandis que les travaux d'Œrsted révolutionnèrent le monde scientifique.

Ajoutons, avec M. Figuier, qu'il n'est pas rare de rencontrer, dans l'histoire des sciences, des faits analogues. Les grandes découvertes sont quelque temps, pour ainsi dire, dans l'air, avant qu'un homme se rencontre qui en comprenne toute la portée et rende fécond le germe depuis longtemps créé.

Il ne faudrait pas d'ailleurs croire que M. Pacinotti ait eu le premier l'idée des électro-aimants circulaires; le docteur Page, de Washington, avait, dès 1852, construit un moteur qui diffère très-peu de celui de Pise et qui, loin d'être un simple instrument de laboratoire, était adapté à une locomotive, laquelle fonctionna très-mal, il est vrai, mais enfin fonctionna.

Ce qui ne peut être contesté, c'est que si les machines magnéto-électriques à courants continus rendent aujourd'hui d'immenses services à la galvanoplastie, aux décompositions chimiques, à l'éclairage et à une foule d'autres industries, on le doit réellement et uniquement aux travaux de M. Gramme. Cet inventeur a, en effet, le premier réalisé industriellement un principe indiqué par un autre physicien, principe dont il n'avait été fait mention dans aucune publication française, anglaise ou allemande, et qui était tellement ignoré en 1869, qu'il a fallu que M. Gramme le découvrît de nouveau pour le mettre en pratique.

M. Pacinotti, dont nous ne contestons le mérite en aucune manière, cherchait surtout à convertir l'électricité en force motrice, tandis que M. Gramme ne s'occupait

que du problème inverse. Les vues du premier étaient sans horizon, limitées à un sentier déjà parcouru inutilement par une foule d'inventeurs ; celles du second étaient immenses et fécondes en applications utiles. Et c'est précisément cette différence dans le but à atteindre qui est cause de l'oubli où tombèrent les travaux de M. Pacinotti, tandis qu'à peine née la machine Gramme captiva l'attention publique et que, depuis, son succès s'est affirmé dans le monde entier.

CHAPITRE VI.

MACHINES GRAMME POUR LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

Machine verticale à six barres d'électro-aimant et trois bobines. — Machine verticale à deux bobines. — Machine horizontale à quatre barres d'électro-aimants et une bobine double. — Comparaison entre une machine de *l'Alliance* et une machine Gramme au triple point de vue du poids, de l'emplacement et du prix. — Machine d'atelier type normal. — Mesures photométriques. — Différence entre les mesures prises sous divers angles. — Intensités lumineuses d'une machine d'atelier.

La production de la lumière exige un courant d'une tension beaucoup plus grande que lorsqu'il s'agit d'applications galvanoplastiques ; aussi, au lieu de fils en cuivre d'un grand diamètre ou de bandes minces d'une grande largeur, M. Gramme a-t-il combiné des machines à fil plus petit et a-t-il augmenté sensiblement leur vitesse pour résoudre le problème de l'éclairage à l'électricité. Cette forte tension a même été l'une des difficultés les plus sérieuses qu'ait rencontrées l'inventeur dans ses études pratiques; et ce n'est que petit à petit, à la suite de nombreux tâtonnements, qu'il est enfin arrivé à une solution irréprochable du problème.

La première machine à lumière exécutée par M. Gramme alimentait un régulateur de 900 becs Carcel; son poids total atteignait 1000 kilogrammes. Elle possédait trois anneaux mobiles et six barres d'électro-aimants. Un des anneaux excitait l'électro-aimant, les deux autres produisaient le courant utilisable. Le cuivre enroulé sur les barres d'électro-aimants pesait 250 kilogrammes; celui des trois anneaux, 75 kilogrammes. L'emplacement nécessité pour

son installation était de 0m,80 de côté sur 1m,25 de hauteur.

Cette machine, qui a servi longtemps pour des expériences

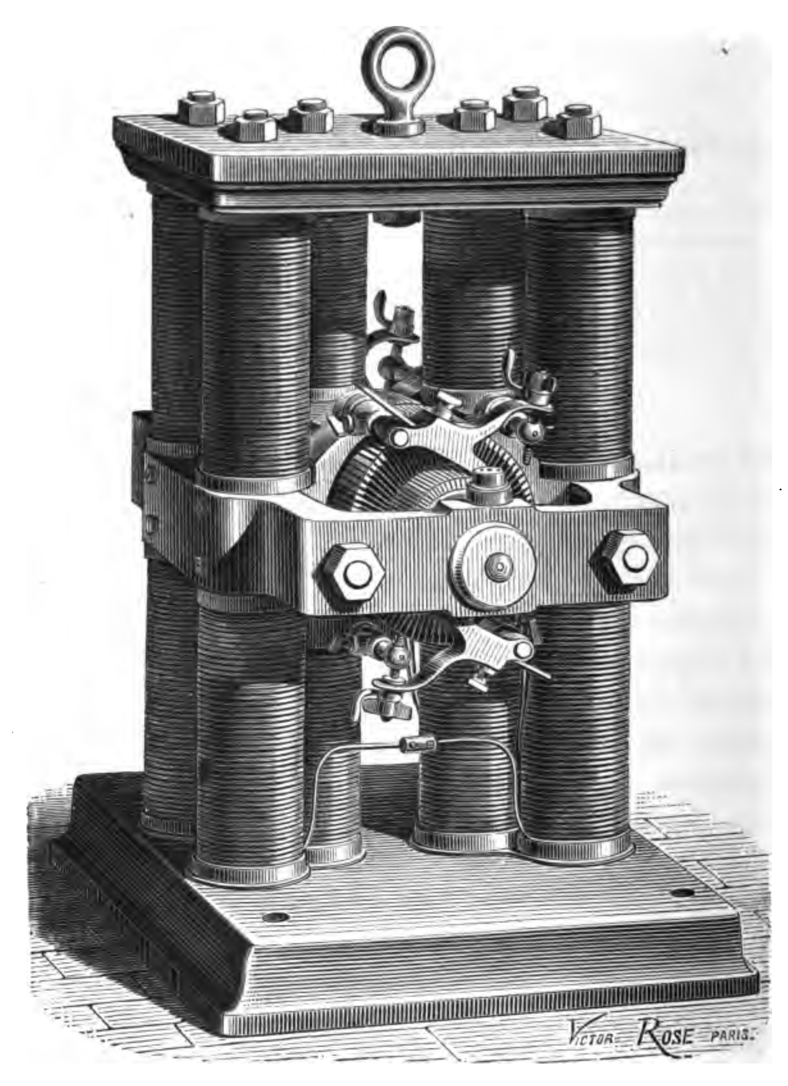


FIG. 32. Machine verticale de 500 becs.

sur la tour de Westminster à Londres, s'échauffait un peu en marchant et donnait naissance à des étincelles entre les

balais métalliques et le faisceau de conducteurs sur lequel se recueille le courant; cependant elle n'a donné lieu, depuis cinq ans, à aucun inconvénient sérieux.

Entrant dans la voie des améliorations, M. Gramme a tout d'abord cherché à supprimer les étincelles et l'échauffement de sa machine, et, comme l'intensité de la lumière demandée alors par divers gouvernements ne dépassait pas 500 becs, il a été amené à réduire les dimensions de l'appareil primitif.

Nous représentons (fig. 32) cette première transformation. La machine a toujours six barres d'électro-aimants; mais, au lieu d'être groupées sur deux lignes droites, ces barres sont groupées en triangles. Deux anneaux permettent d'envoyer le courant total dans les électro-aimants, ou de magnétiser les électro-aimants avec l'un d'eux, ou enfin de produire deux lumières séparées.

Cette machine pèse 700 kilogrammes; sa hauteur est de $0^m,90$, sa largeur de $0^m,65$. Le poids du cuivre enroulé sur les barres d'électro-aimants est de 180 kilogrammes, celui des deux anneaux de 40 kilogrammes. Elle produit une lumière normale de 550 becs, qui s'est élevée dans des expériences à grande vitesse jusqu'au double. Quand on envoie le courant dans deux régulateurs, chacun d'eux donne 150 becs Carcel.

L'appareil ainsi constitué a été installé à bord du ***Suffren*** et du ***Richelieu***, de la marine française : de la ***Livadia*** et du ***Pierre-le-Grand***, de la marine russe : il est employé par plusieurs gouvernements pour le service des places fortes. La vitesse ne dépasse pas 400 tours à la minute. Aucun échauffement nuisible ne se produit dans la bobine ou les électro-aimants. Bref, la machine est excellente, mais son prix est un peu élevé et son intensité lumineuse un peu faible lorsque l'atmosphère est brumeuse.

C'est pour remédier à ces deux inconvénients que l'inventeur a étudié la machine (fig. 33 et 34), laquelle a

donné des résultats très-supérieurs à toutes celles qui l'avaient précédée.

Elle se compose de deux flasques en fonte disposées verticalement et réunies par quatre barres en fer, servant d'âmes à l'électro-aimant. L'axe est en acier de très-bonne qualité; ses portées sont relativement très-longues. L'anneau central, au lieu d'être formé d'un fil unique attaché

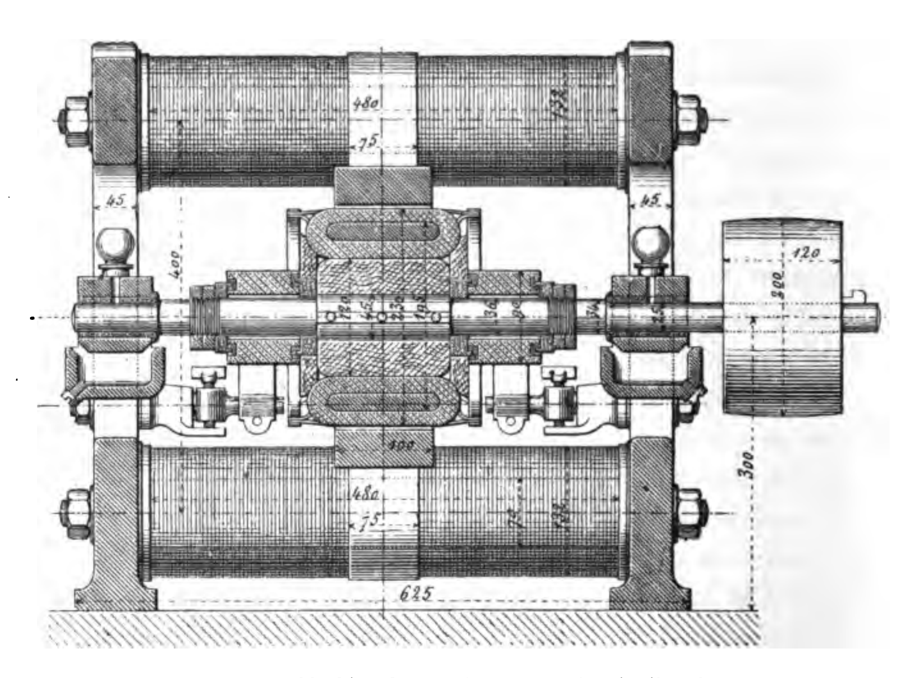


Fig. 33. Machine de 2000 becs (coupe longitudinale).

par fractions égales à un collecteur commun, est formé de deux fils de même longueur enroulés parallèlement sur le fer doux et reliés à deux collecteurs pour la prise des courants. Les armatures des pôles de l'électro-aimant sont très-développées et embrassent les sept huitièmes de la circonférence totale de l'anneau central.

Les balais, au nombre de quatre, recueillent les courants développés.

L'électro-aimant est placé dans le circuit.

La longueur totale de la machine, poulie comprise, est de 0m,800 ; sa largeur, de 0m,550 et sa hauteur de 0m,585. Son poids est de 400 kilogrammes.

La bobine double est reliée à 120 conducteurs, 60 de chaque côté. Son diamètre extérieur est de 0m,230. Le poids du fil enroulé de 14 kilogrammes.

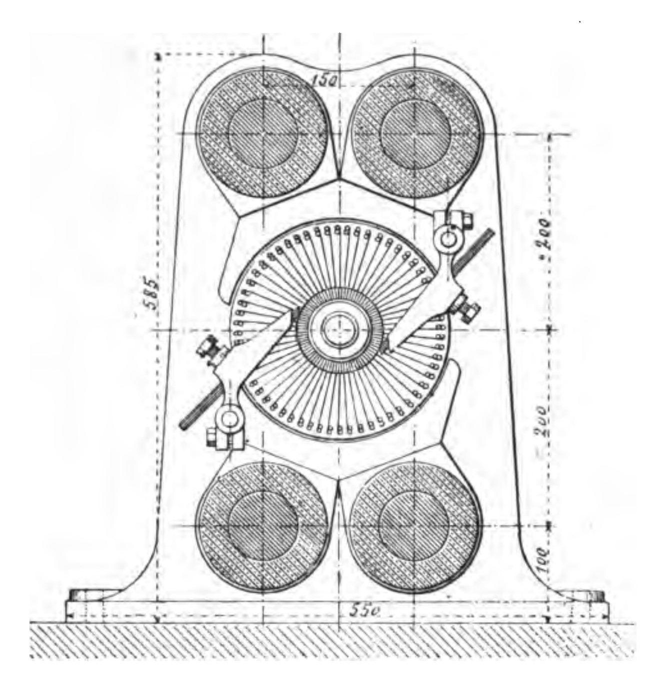


Fig. 34. Machine de 2000 becs (coupe transversale).

Les barres d'électro-aimant ont un diamètre de 0m,07 et une longueur de 0m,404. Le poids total du fil enroulé sur les quatre barres est de 96 kilogrammes.

L'enroulement des fils sur l'anneau est ainsi fait, que les choses se passent exactement comme si l'on avait deux bobines complètes l'une à côté de l'autre, et ces deux bobines peuvent être accouplées en tension ou en quantité. Accouplées en tension elles donnent une intensité lumineuse

de 800 becs Carcel à 700 tours par minute. Accouplées en quantité, elles atteignent 2000 becs Carcel à 1 350 tours par minute.

Ce type de machine a été adopté par le ministère de la guerre en France, par la marine et l'artillerie autrichiennes, par les gouvernements norwégien et turc, etc., etc. Partout où il est installé, il donne de très-bons résultats.

Une simple comparaison fera apprécier, à leur juste valeur, les perfectionnements apportés, en quelques années seulement, par M. Gramme aux machines magnéto-électriques produisant de la lumière.

Les machines de *l'Alliance* à six disques installées au phare de la Hève ont $1^m,60$ de longueur (poulies comprises), $1^m,30$ de largeur et $1^m,50$ de hauteur. Leur poids est d'environ 2 000 kilogrammes. Elles ont coûté 12 000 francs chacune. Leur intensité lumineuse est de 250 becs.

En ramenant la machine Gramme de 4 barres d'électro-aimants et la machine de *l'Alliance* de 6 disques, à une puissance de 100 becs Carcel, on trouve :

Pour la machine *l'Alliance*, un poids de 800 kilogrammes, un volume de $1^{m3},20$ et un prix de 4 800 francs;

Pour la machine *Gramme*, un poids de 20 kilogrammes, un volume de $0^{m3},12$ et un prix de 300 francs.

C'est-à-dire que la machine Gramme est 40 fois plus avantageuse au point de vue du poids; 100 fois plus au point de vue du volume et 16 fois plus au point de vue du prix[1].

De simplification en simplification, l'inventeur a été amené à établir, pour l'industrie, un type à deux barres

1. Nous comparons avec les machines établies au Havre; il est possible que les machines de *l'Alliance* aient reçu, depuis cette installation, quelques perfectionnements; mais, d'autre part, M. Gramme vient de faire une machine de 5000 becs, beaucoup plus avantageuse au triple point de vue du poids, du volume et du prix.

d'électro-aimants et à n'employer qu'un seul anneau central.

La figure 35 représente le type définitivement adopté pour les ateliers et les grands espaces à découvert.

La machine pèse 180 kilogrammes. Sa hauteur est de $0^m,60$, sa largeur de $0^m,35$ et sa longueur, poulie comprise, de $0^m,65$.

Le socle pèse 120 kilogrammes; il a $0^m,40$ de hauteur.

Le cuivre enroulé sur les barres d'électro-aimants pèse 28 kilogrammes, celui de l'anneau pèse 4 kilogrammes et demi.

C'est avec aussi peu de cuivre et une vitesse de rotation ne dépassant pas 900 tours par minute qu'on a pu obtenir jusqu'à 1 440 becs Carcel, en se plaçant sous un certain angle, sans aucun abat-jour ni projecteur quelconque, les axes des deux charbons étant placés rigoureusement vis-à-vis l'un de l'autre.

Avant d'aller plus loin, il est essentiel de donner quelques explications sur la manière de prendre des mesures photométriques lorsqu'il s'agit de comparer les pouvoirs éclairants d'une lampe électrique et d'une lampe à huile.

Quand, pour engendrer la lumière électrique, on se sert d'une machine à courants alternatifs, les deux charbons se taillent en pointe et s'usent à peu près également. La meilleure manière d'évaluer la lumière est alors de placer les deux lampes et le photomètre sur une même ligne horizontale, car rien ne masque la flamme de la lampe à huile ni le foyer de la lampe électrique. Lorsqu'on élèvera ensuite les deux lampes pour s'en servir utilement, on aura beaucoup moins de lumière, mais le rapport des deux sources lumineuses restera très-approximativement le même.

Quand on opère, au contraire, avec la pile ou avec une machine à courants continus, comme celle de M. Gramme,

le charbon supérieur se creuse et le charbon inférieur se taille en pointe; les mesures prises horizontalement cessent d'être exactes, car l'arc voltaïque est en partie logé dans la petite cavité du charbon supérieur. Il faut alors placer les lampes à la hauteur moyenne qu'elles doivent occuper, dans les locaux à éclairer, et prendre ses mesures photométriques en obliquant le photomètre. Les intensités variant avec la distance où l'on se trouve du foyer électrique, il est bon de faire une série d'expériences lorsqu'on veut déterminer exactement la puissance lumineuse d'une machine. En pratique, on peut se mettre horizontalement en ayant soin d'obliquer la lampe suivant divers angles et de ramener les charbons verticalement après chaque constatation. (Cette dernière précaution est de rigueur pour empêcher les crayons de se tailler en biais; l'arc tendant toujours à monter verticalement.)

Quelquefois, on dispose la lampe de manière à renvoyer presque toute la lumière en avant; il suffit pour cela de placer le charbon positif un peu en arrière du charbon négatif (les axes au lieu de se superposer étant distants de 0^{m},003 par exemple). Le charbon négatif continue de se tailler en pointe, mais le charbon positif se taille obliquement et forme un écran derrière le foyer et un véritable réflecteur devant. Cet artifice, qui permet de doubler les effets d'un appareil de projection, n'est pas possible avec les machines à courants alternatifs, puisque les lampes qu'elles alimentent n'ont, en réalité, aucun charbon spécialement positif ou négatif.

Quand un industriel veut connaître l'intensité obtenue avec un ou plusieurs appareils, il s'occupe peu des mesures prises horizontalement dans un laboratoire, il demande seulement l'évaluation, aussi exacte que possible, de la lumière utilisable. C'est pourquoi, lorsque nous désignons une machine par sa puissance, nous supposons toujours le

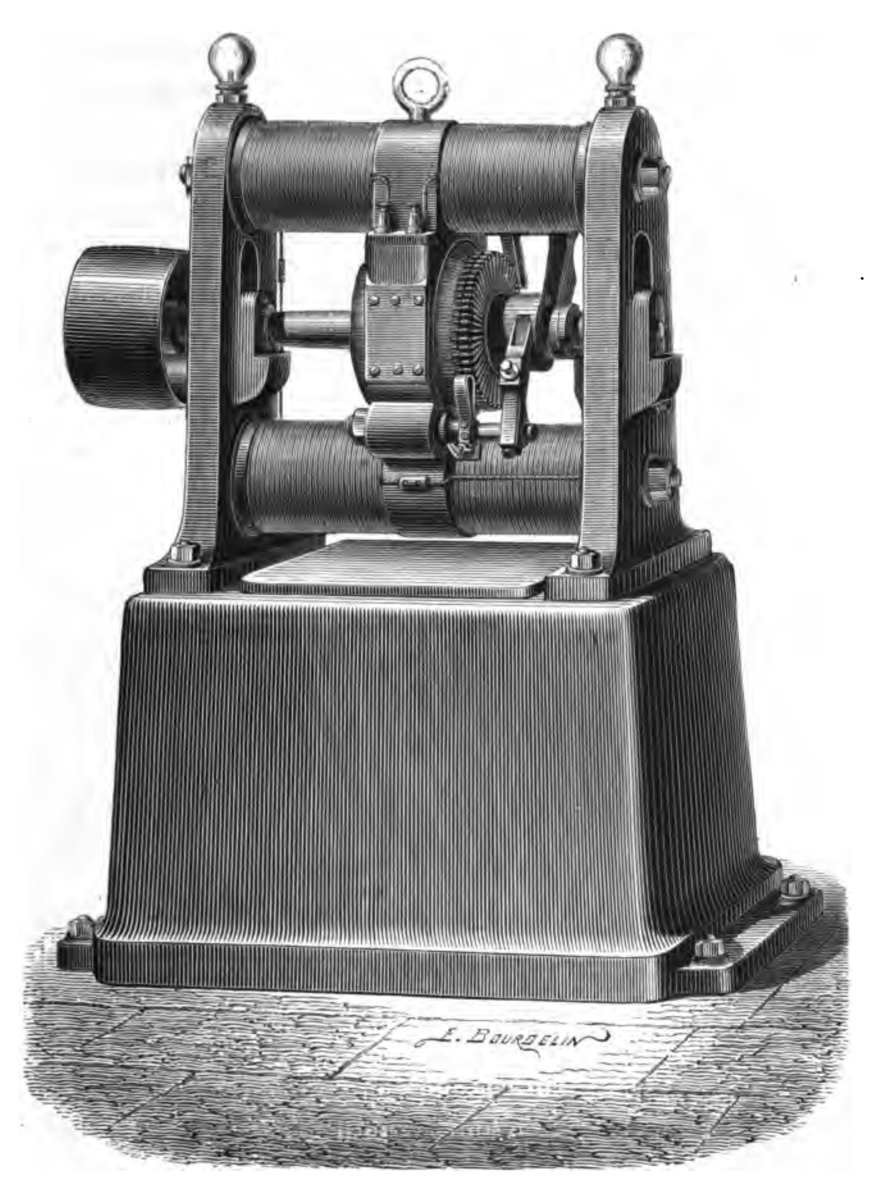


Fig. 35. Machine d'atelier (type normal).

foyer à 5 mètres d'élévation et l'observateur à 20 mètres de l'aplomb de la lampe.

Le tableau suivant indique les résultats obtenus avec une machine Gramme du type normal, une lampe Serrin et des crayons Gaudoin n° 1.

La force motrice employée ne dépassait pas 2 chevaux ou 150 kilogrammètres lorsque la machine faisait 820 tours, et 3 chevaux lorsqu'elle faisait 900 tours. La lampe électrique était placée d'abord à 25, puis à 200 mètres de la machine Gramme qui l'alimentait.

INTENSITÉS LUMINEUSES D'UNE MACHINE GRAMME (TYPE D'ATELIER).

NOMBRE DE TOURS de la machine par minute.	DISTANCE DE L'OBSERVATEUR à la lampe.	HAUTEUR de LA LAMPE.	NOMBRE de BECS CARCEL.	OBSERVATIONS.
820	45m,00	5m	308	L'écart des charbons n'a pu être maintenu qu'à 3mm parce que la tension électrique était trop faible.
820	22 ,50	5	450	
820	10 ,00	5	515	
820	5 ,00	5	600	
820	2 ,50	5	612	
870	45 ,00	5	400	Bonne tension, écart bien régulier de 3mm. Marche tout à fait satisfaisante.
870	22 ,50	5	550	
870	10 ,00	5	810	
870	5 ,00	5	1100	
870	2 ,50	5	1130	
920	45 ,00	5	452	Trop de tension. Les crayons rougissent sur une grande longueur. La lumière est moins fixe.
920	22 ,50	5	704	
920	10 ,00	5	1207	
920	5 ,00	5	1420	
920	2 ,50	5	1440	

Les intensités mesurées horizontalement, la lampe, le foyer électrique et le photomètre en ligne droite, ont été en moyenne de :

203 becs avec une vitesse de. . . . . 828 tours.
296 — . . . . . 870 —
403 — . . . . . 920 —

Les résultats consignés dans le tableau ci-contre n'ont pas été obtenus avec une machine spéciale choisie dans toute une série, on a essayé successivement plusieurs machines de la fabrication de MM. Sautter et Lemonnier, puis on a répété les expériences sur des machines exécutées par MM. Mignon et Rouart; les intensités observées n'ont pas varié sensiblement et ne sont, dans aucun cas, descendues au-dessous de 300 becs lorsqu'on se plaçait à 45 mètres du régulateur, et de 200 becs lorsqu'on plaçait la lampe, le régulateur et le photomètre horizontalement sur une même ligne droite.

La moyenne de la lumière répandue sur une surface de 500 mètres carrés a été de 500 becs Carcel; à 20 mètres de la lampe électrique on était aussi bien éclairé que si l'on eût eu une lampe à huile (mèche de 12 lignes) à 1 mètre de distance; à 5 mètres la lumière correspondait à celle d'une lampe à huile placée à $0^{m},55$.

La force motrice employée dans ces expériences n'a jamais dépassé un demi-cheval pour 100 becs. La comparaison de ce chiffre avec ceux obtenus par MM. Tresca, Hagenbach et Schneider, dont nous publions les rapports plus loin, donne la mesure des progrès réalisés, sur ce point, par M. Gramme en une seule année.

En se servant d'une machine analogue et en remplaçant la résistance extérieure du fil conducteur par celle qu'engendrent les bains galvaniques, M. Gramme a obtenu un dépôt de cuivre relativement considérable sans diminution de lumière. Nous notons ce fait remarquable sans aucun commentaire; une prochaine communication à l'Académie des sciences devant en analyser les causes et en préciser l'importance.

M. Gramme construit un nouveau type, plus petit que le précédent, dont nous n'avons pas encore mesuré le pouvoir éclairant et que nous décrirons seulement lorsqu'il

sera définitivement entré dans le domaine de la pratique.

Signalons encore une machine, qui doit figurer à l'exposition de 1878, et qui donnera l'intensité lumineuse la plus grande qu'on ait jamais obtenue avec très-peu de force motrice ; une machine à pôles multiples, destinée à produire simultanément plusieurs foyers, d'une construction tout à fait pratique ; mais dont le prix sera sans doute plus élevé que celui des machines isolées donnant la même lumière totale ; et une machine à 8 fortes lumières, faite sur commande et disposée pour l'obtention de courants alternatifs.

M. Gramme, avant d'inventer la machine à courants continus qui porte son nom, avait beaucoup étudié les machines à courants alternatifs, et nous avons trouvé dans son brevet du 26 février 1867 la première indication donnée en France de la possibilité d'intercaler les électro-aimants dans le circuit des bobines.

CHAPITRE VII.

APPLICATIONS INDUSTRIELLES.

Des conditions à réaliser pour un bon emploi de la lumière à l'électricité. — Espaces que peut éclairer une seule machine. — Prix de revient et commodité. — Installation dans l'atelier de l'inventeur. — Établissement Ducommun à Mulhouse. — Ateliers Sautter, Lemonnier et Ce, à Paris. — Usines Menier à Noisiel, Grenelle et Roye. — Installations dans les filatures. — Gare des marchandises de la Chapelle-Paris. — Chantiers de M. Jeanne Deslandes au Havre. — Plafond lumineux. — Port du canal de la Marne au Rhin à Sermaize. — Éclairage d'une piste de patinage. — Applications diverses.

L'éclairage à l'électricité peut être employé avec avantage dans un grand nombre d'usines. Il n'offre aucun inconvénient en pratique et permet d'obtenir une grande quantité de lumière ambiante avec une très-faible dépense. C'est le seul éclairage industriel avec lequel on puisse exécuter, la nuit comme le jour, des travaux de chargement, de déchargement, de montage de machines, de charpente, de tissage, etc., et exercer dans un atelier une surveillance facile. La lumière qu'il fournit est tellement abondante, que, reflétée par tous les objets qu'elle frappe, elle est diffusée dans tous les sens à la façon de la lumière du jour; il n'y a pas de partie absolument sombre; partout on peut lire, trouver un outil, etc.

Malgré la puissance lumineuse d'un foyer, s'il s'agit de travaux d'une certaine précision, il est indispensable d'avoir deux machines, afin que les ombres produites par une lumière soient éclairées par l'autre; mais, dès lors, l'extinction qui se produit pour chaque lampe au bout de trois heures et demie à quatre heures d'allumage, n'est

pas un inconvénient sérieux; il suffit, en effet, de deux minutes pour garnir la lampe de crayons neufs et rallumer; pendant ce petit intervalle de temps, la lumière des autres lampes permet de ne pas interrompre le travail. D'ailleurs, s'il est indispensable d'avoir une continuité absolue, il suffit d'adjoindre à chaque lampe une lampe de rechange, dont l'allumage se fait automatiquement par l'extinction de la première; mais en pratique cela n'est généralement pas nécessaire.

L'expérience nous a montré que le travail à la lumière électrique nue n'était pas fatigant pour les yeux; après quelques jours d'emploi de globes opales, pour tempérer la lumière, on les supprime partout, à la demande des ouvriers. C'est inutilement qu'ils atténuent la lumière.

Tout le monde sait que la lumière électrique conserve aux couleurs leurs nuances. Cette qualité a été utilisée avec succès par plusieurs teinturiers pour échantillonner la nuit; un seul foyer lumineux, qui pourrait être même de moindre dimension, suffit en ce cas.

Lorsque les plafonds ont moins de 4 mètres d'élévation, l'installation électrique devient plus difficile, sans cependant être absolument irréalisable.

En général, on peut éclairer convenablement, avec un seul appareil, 500 mètres carrés d'un atelier d'ajustage, de tours, de machines-outils, de modelage, etc.; 250 mètres carrés d'une filature, d'un tissage, d'une imprimerie, etc., et 2000 mètres carrés d'un montage, d'une cour, d'un quai, d'un chantier en plein air, etc. Avec ces données, il est facile de se rendre compte du prix d'une installation quelconque, sachant qu'un appareil complet : lampe, machine, fil conducteur, transport et pose, coûte environ 2400 francs en France et dans les pays limitrophes.

Les industriels qui ne payent le gaz que $0^{f},30$ le mètre cube, et qui trouvent leur établissement suffisam-

ment éclairé avec 20 becs de gaz, ne doivent pas chercher une lumière plus économique, à moins qu'ils ne fassent travailler toutes les nuits, sans interruption ; auquel cas, ils auront intérêt à remplacer 10 becs de gaz par un appareil électrique.

Les deux questions qu'on doit examiner pour établir un nouveau mode d'éclairage sont le prix de revient et la commodité. On fait souvent bon marché de la seconde, mais c'est un tort ; car, dans la plupart des cas, l'intérêt bien compris devrait la faire prévaloir.

Nous avons eu l'occasion de visiter un grand nombre d'usines, de fabriques et de manufactures de tous genres, en Europe comme en Amérique, et nous avons peu vu d'établissements qui soient bien éclairés ; peu où une lumière plus intense n'eût donné une surveillance plus efficace, un travail plus considérable, une sécurité plus grande. Les compagnies d'assurance contre l'incendie ont un intérêt si important à la propagation de l'éclairage à l'électricité, que plusieurs d'entre elles ont offert de baisser leur tarif pour tous les bâtiments ainsi éclairés.

Une revue rapide de quelques installations exécutées fera apprécier mieux que tous les raisonnements possibles les avantages de l'électricité.

Atelier de la société Gramme.

La première installation permanente de l'éclairage à l'électricité a été réalisée en 1873, à Paris, dans l'atelier de la société Gramme. La lumière était fournie par un seul foyer, qui tenait la place de 25 becs de gaz. Pendant quatre années la marche a été régulière et le prix de revient n'a pas dépassé $0^{f},60$ par heure, tous frais compris. La salle éclairée a environ 12 mètres sur 12 mètres et 5 mètres de hauteur.

Établissement Ducommun à Mulhouse.

A la suite d'une visite à l'atelier Gramme, MM. Heilmann et Steinlen, les propriétaires actuels de l'établissement Ducommun à Mulhouse, se décidèrent à faire l'application, sur une plus grande échelle, du nouveau mode d'éclairage; à cet effet, ils firent placer dans leur fonderie de fer quatre lampes Serrin alimentées par quatre machines Gramme. L'essai fut couronné de succès : depuis trois ans le fonctionnement des appareils est régulier et MM. Heilmann et Steinlen ont l'intention d'étendre cet éclairage à plusieurs autres bâtiments.

La fonderie Ducommun est de construction récente. Elle est bien disposée pour l'éclairage à l'électricité, quoique rien n'ait été approprié spécialement pour ce but. (La construction était entièrement terminée lorsqu'on s'est décidé à y installer la lumière électrique.) C'est une grande halle, sans mur de refend ni cloison verticale, ayant 56 mètres de longueur intérieure et 28 mètres de largeur. Deux grands chariots roulants, destinés à la manœuvre des châssis, des pièces moulées et des poches remplies de fonte en fusion, circulent automatiquement d'une extrémité à l'autre du bâtiment. A $5^m,50$ du sol, au niveau même des chariots, règne sur les deux côtés longitudinaux un plancher de quelques mètres de largeur. Le toit est à deux versants, la charpente peu encombrante, les murs blanchis à la chaux.

Les régulateurs Serrin sont placés sur de petites consoles légèrement en saillie sur les planchers latéraux. On les aborde au moyen d'une échelle, comme cela a lieu pour les lanternes publiques de l'éclairage au gaz. Les foyers sont élevés à 5 mètres du sol, leur écartement est de 21 mètres dans le sens de la longueur et de 14 mètres dans le sens de la largeur.

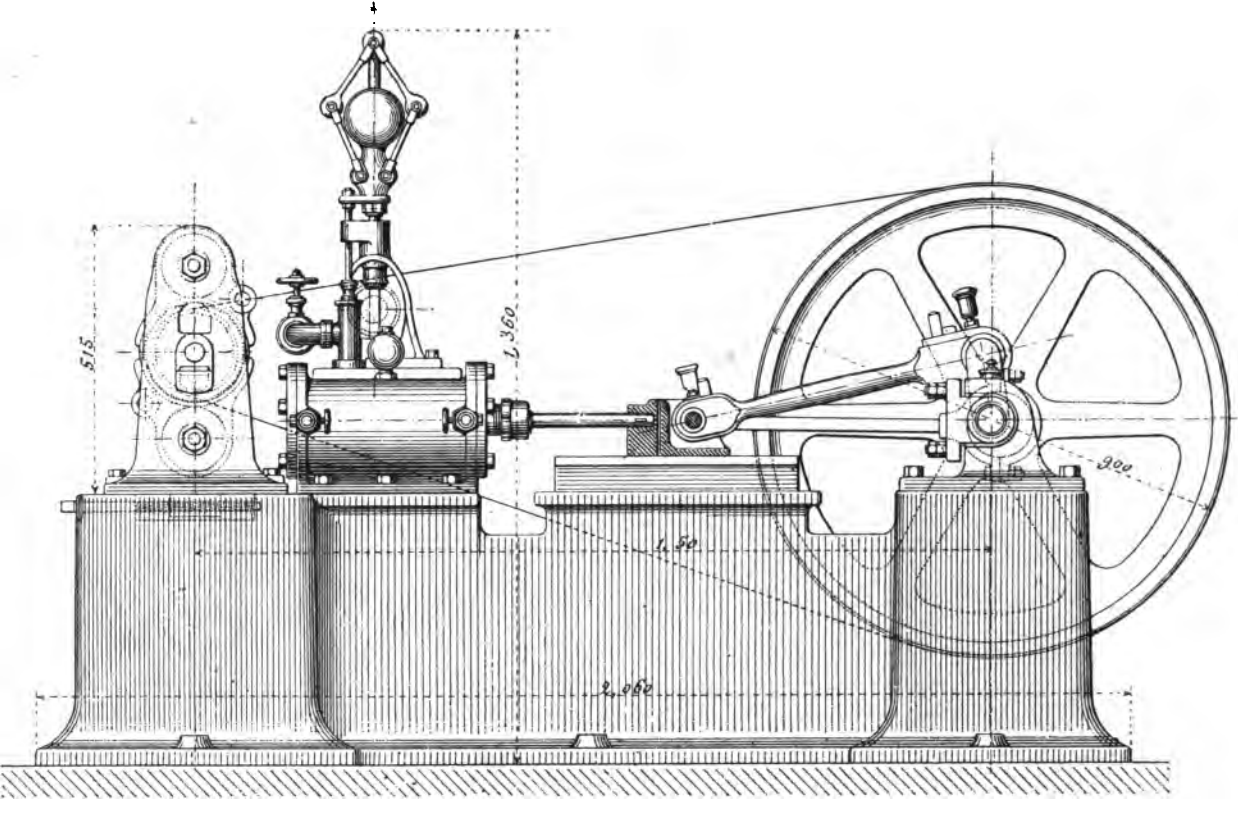


FIG. 36. Machine Gramme avec son moteur.

Les machines Gramme sont placées dans l'annexe où se trouvaient déjà la chaudière et la machine servant au ventilateur. Le moteur ayant été largement calculé pour le but qu'il devait atteindre, il a été inutile de le modifier et on a pu, sans inconvénient, lui faire actionner les appareils électriques et le ventilateur des cubilots simultanément. L'installation est d'une grande simplicité : les machines Gramme sont placées au premier étage sur une même ligne et elles reçoivent leur mouvement d'un arbre intermédiaire unique. Toutes les pièces sont facilement accessibles, et le service d'entretien, qui se réduit d'ailleurs à quelques précautions de propreté, peut se faire pendant la marche aussi bien que pendant le repos. La machine motrice est du type Sulzer, sa marche est très-régulière et la consommation de combustible est faible.

L'éclairage est général et d'une intensité constante; à n'importe quel endroit du local, il est aisé de lire un écrit placé à distance normale des yeux. Il n'y a presque pas d'ombres portées, grâce aux jets croisés de lumière émanant des quatre lampes.

L'installation complète a coûté, en chiffres ronds, 10 000 francs; c'est ce qu'aurait coûté environ l'installation de 250 becs de gaz. La lumière totale produite par l'électricité dépasse 400 becs.

Nous donnerons plus loin le résultat des expériences faites par M. Schneider et Heilmann sur la puissance motrice absorbée par les machines, le pouvoir éclairant de chaque lampe, et le prix de revient de la lumière à l'électricité comparée à la lumière au gaz.

MM. Heilmann et Steinlen ont obtenu de la société Gramme le droit de fabriquer des machines d'un type déterminé et ils ont étudié diverses dispositions pour en faciliter l'emploi sur les navires et dans les manœuvres de guerre. Nous donnons figure 36 une de ces études. C'est une ma-

chine Gramme placée sur le même bâti que la machine à vapeur et destinée à être installée dans les sucreries, sur les navires, partout où la vapeur est fournie par des générateurs communs et où le moteur de l'appareil électrique doit être indépendant pour assurer la régularité.

Pour éviter toute vibration, le bâti est large, rigide, bien assis. L'emplacement total ne dépasse pas $2^m,25$ sur 1 mètre. Toutes les pièces frottantes sont calculées pour un service durable. L'arbre de la machine à vapeur fait 150 révolutions à la minute; celui de la machine Gramme 850.

Un tendeur placé sous la machine électrique permet de l'éloigner du moteur, quand la courroie n'a pas une tension suffisante. C'est là un excellent moyen d'empêcher le glissement de la courroie et d'assurer par conséquent une vitesse régulière à la bobine, mais il faut en faire usage avec beaucoup de soin; une tension exagérée de la courroie absorberait un travail considérable et pourrait donner plus d'inconvénients que les glissements eux-mêmes.

Le prix d'un appareil complet, moteur et générateur électrique, est de 4 000 francs.

Ateliers Sautter, Lemonnier et Ce, à Paris.

L'éclairage à l'électricité avait sa place marquée dans les ateliers de MM. Sautter, Lemonnier et Ce, les fabricants si connus de phares lenticulaires, d'abord parce que personne plus que ces messieurs n'est familiarisé avec l'usage des fortes lumières, et ensuite parce que, dès les premiers essais de M. Gramme, ils ont demandé et obtenu l'autorisation de construire des machines de son système.

L'installation de leur atelier leur permettait de se convaincre eux-mêmes et de démontrer aux visiteurs que ce mode d'éclairage était excellent à tous les points de vue, et que, dans certaines conditions de dispositions locales et pour

certains genres de travaux, il devait être préféré à tous les autres.

Les ateliers Sautter et Lemonnier se composent de deux travées de 30 mètres de longueur sur 25 mètres de largeur chacune; un plancher à 6 mètres du sol règne entre ces deux travées sur une largeur de 10 mètres. Au rez-de-chaussée sont les machines-outils : tours, raboteuses, fraiseuses, poinçonneuses, cisailles, forges, etc., etc.; les ajusteurs y travaillent les grosses pièces et l'on y fait le montage des machines. Au premier sont les modeleurs, ferblantiers et ajusteurs travaillant le bronze et les pièces de précision; trois machines Gramme, donnant chacune une lumière équivalente à 150 becs Carcel, éclairent l'atelier d'une façon suffisante pour que tout autre mode d'éclairage ait été supprimé, aussi bien pour les ouvriers travaillant aux machines-outils que pour les ajusteurs de précision.

On pourrait croire que dans un atelier de cette sorte les ombres portées par les outils, par les courroies, par les colonnes sont une grande gêne pour le travail, et que partout où la lumière n'arrive pas directement, le contraste fait paraître l'obscurité plus grande qu'avec un autre mode d'éclairage. Il n'en est rien. La lumière diffuse ou, en d'autres termes, la lumière réfléchie par tous les points éclairés est telle, qu'il n'y a point, à proprement parler, dans l'atelier de recoin sombre, et qu'un ouvrier distingue facilement les objets placés au fond de son tiroir.

La lumière électrique, pas plus là qu'ailleurs, ne blesse ni ne fatigue la vue des ouvriers; ils perdent au bout de très-peu de jours l'habitude de la regarder et sont tous très-satisfaits d'un mode d'éclairage qui rend le travail de nuit aussi facile que le travail de jour.

A plus forte raison peut-on en dire autant de la surveillance, qui peut s'exercer la nuit dans un atelier éclairé par la lumière électrique, absolument comme en plein jour.

Fig. 37. Vue des ateliers de MM. Sautter, Lemonnier et Cie.

Les intermittences ne sont pas à craindre, et il en est ainsi dans chaque atelier éclairé par deux lampes au moins. Quand ces lampes sont bien réglées, les extinctions accidentelles sont fort rares. Au bout de quatre heures d'allumage, il faut remplacer les charbons, et cette opération se fait en deux ou trois minutes.

On a remarqué, chez MM. Sautter, Lemonnier et Ce, que chaque machine Gramme consommait un travail d'environ 2 chevaux; c'est là, avec les crayons de carbone de la lampe, la seule dépense d'éclairage. Les crayons se consument avec une vitesse de $0^m,07$ à l'heure et coûtent 2 francs le mètre. 100 becs Carcel fournis par la machine Gramme coûtent donc $0^f,14$ par heure, plus les frais de force motrice.

Nous donnons (fig. 37) une vue des ateliers Sautter, Lemonnier et Ce éclairés à l'électricité.

Ce dessin montre la blancheur des plafonds et l'intensité uniforme de l'éclairage. Il donne une idée aussi exacte que possible des effets remarquables de l'arc voltaïque dans un espace clos et couvert.

Usines Ménier, à Grenelle, Noisiel et Roye.

M. Ménier a fait installer la lumière électrique dans ses divers établissements et en a tiré un excellent parti par des dispositions particulières bien comprises. Depuis le mois de novembre 1875, 14 machines de 150 becs fonctionnent à son entière satisfaction : 3 sont installées dans la sucrerie de Roye, 3 dans la fabrique de caoutchouc à Grenelle (Paris), et 8 dans la célèbre chocolaterie Ménier, de Noisiel.

Dans toutes ces usines, les lampes sont suspendues de telle sorte, qu'on peut les garnir de leurs charbons et les nettoyer, si besoin est, sans se servir d'escalier ou d'échelle.

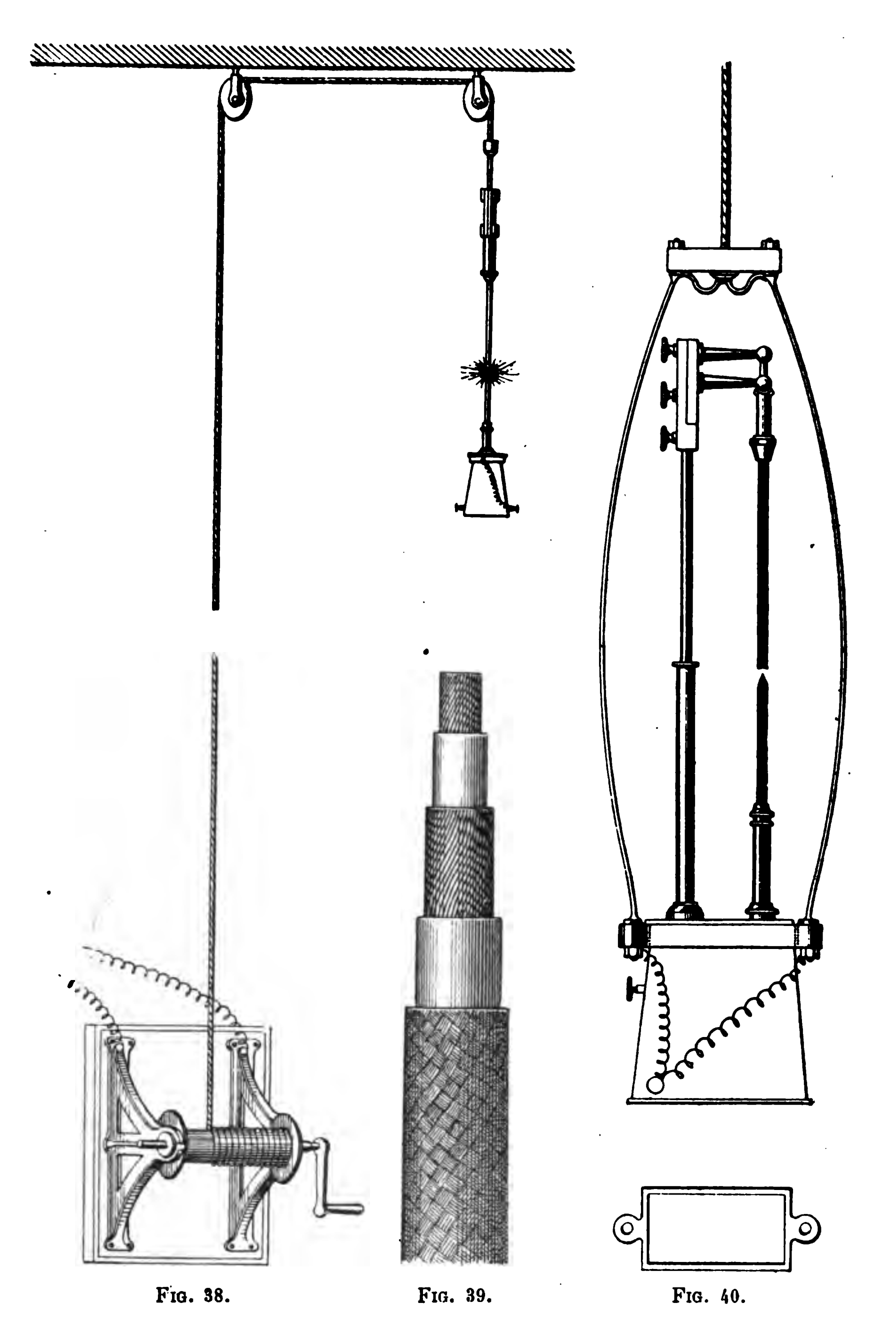


Fig. 38. Fig. 39. Fig. 40.

Suspension des régulateurs, système Henri Ménier.

Le treuil de manœuvre, représenté figure 38, est de l'invention de M. Henri Ménier. Il se compose de deux flasques en fonte montées sur un plateau de bois dur et d'un tambour en caoutchouc durci. Les fils conducteurs sont attachés, l'un à la flasque de gauche, l'autre à la flasque de droite, et celles-ci communiquent métalliquement avec les extrémités du câble de suspension.

Ce câble est formé (fig. 39) d'une enveloppe extérieure en toile, d'une gaîne en caoutchouc, d'une première série de fils en cuivre tressés comme une mèche, d'une deuxième gaîne en caoutchouc, et enfin d'une série de fils de cuivre tressés en corde et formant l'axe du câble. L'enroulement sur le tambour se fait très-aisément. Un petit rochet empêche la lampe de descendre seule.

Le càble, soutenu et guidé par deux poulies supérieures, est attaché à un petit plateau, lequel est réuni à la lampe par deux tiges courbes (fig. 40). Un cadre muni de deux oreilles est fixé sur la lampe et reçoit les extrémités des tiges courbes.

Le courant est amené aux bornes de la lampe par les tiges de suspension, dont l'une est reliée avec l'âme métallique du câble et l'autre avec sa partie métallique intermédiaire, c'est-à-dire avec les pôles positifs et négatifs de la machine magnéto-électrique.

L'usine de Noisiel est éclairée toute la nuit. Les huit machines sont accouplées en deux batteries de 4. Elles sont mises en mouvement par des roues hydrauliques, et, au besoin, quand les eaux sont basses, par une machine à vapeur spéciale. Les fils aboutissent à un commutateur particulier, placé au rez-de-chaussée (au centre des divers ateliers), et permettant d'envoyer le courant de chaque machine dans quinze directions différentes. On peut, par ce moyen, éclairer une salle avec n'importe quelle machine et parer à tous les inconvénients qui pourraient se pré-

senter, si l'une quelconque des machines ou des lampes venait à se déranger.

Près de chaque lampe se trouve un interrupteur, placé à portée de la main, avec lequel on peut éteindre la lampe sans arrêter le mouvement des machines.

Voici comment sont distribuées les foyers lumineux à Noisiel :

Une lampe placée dans une lanterne carrée et élevée à 7 mètres au-dessus de la serre des machines à vapeur, éclaire une cour principale de 2000 mètres carrés de surface.

Deux autres lampes éclairent chacune une cour intérieure de 500 mètres carrés.

L'atelier de torréfaction, où travaillent 32 ouvriers, a 44 mètres de longueur, 11 mètres de largeur et 7^m,70 de hauteur ; il est éclairé par une seule lampe placée dans une lanterne vitrée, sur le sol, à l'une des extrémités de l'atelier. La lumière est projetée sur le plafond par un miroir parabolique, incliné comme un mortier de guerre ; elle est ainsi diffusée dans toute la pièce par réflexion.

L'atelier pour le pesage et le moulage, où travaillent 90 ouvriers, a 52 mètres de longueur sur 11 mètres de largeur et 7^m,70 de hauteur. Il est éclairé par deux lampes placées à 25 mètres de distance l'une de l'autre et suspendues à 6 mètres du sol.

Les ateliers d'entretien et de construction mécanique ont 400 mètres carrés de surface ; ils sont éclairés par un régulateur unique suspendu à 6 mètres du sol.

On étudie en ce moment l'éclairage par réflexion des deux ateliers de broyage, qui ont 40 mètres de longueur, 12 mètres de largeur et seulement 3^m,60 de hauteur.

M. Ménier possède, sans contredit, la plus belle installation d'éclairage électrique qui existe au monde ; il peut, sans aucun dérangement, amener cette lumière dans la

maison d'habitation et éclairer le vestibule, la grande salle à manger, les deux salons, le jardin d'hiver et les jardins.

Une lampe est spécialement destinée aux projections photométriques et aux démonstrations scientifiques de la salle des cours et conférences.

A l'occasion de la première distribution des prix des écoles de l'usine, M. Ménier a donné, le 20 août 1876, un banquet de 1 450 couverts dans une tente de 65 mètres de longueur, 32^{m},50 de largeur et 7 mètres de hauteur. Le banquet et le bal qui suivit ont été éclairés d'une manière féerique par 6 régulateurs de 150 becs. Un phare de 1 200 becs, placé à quelque distance de la tente, éclairait la campagne dans un rayon de plus d'un kilomètre.

A la sucrerie centrale de Roye, M. Ménier a installé trois machines Gramme avec des dispositions analogues à celles adoptées à Noisiel. La première de ces machines éclaire la halle de *carbonatation*, qui a 45 mètres de longueur, 20 mètres de largeur et 15 mètres de hauteur; la seconde est placée au milieu de la cour principale, où se trouvent les fours à chaux, les bouveries, les dépôts de charbons, etc.; elle éclaire une surface de 6 000 mètres carrés; la troisième éclaire la réception des betteraves, les halles de dépôt, la monteuse et le laveur à betteraves.

A Grenelle, la fabrique de caoutchouc a sa grande halle, où travaillent 150 personnes, éclairée par trois régulateurs suspendus à 6 mètres du sol et placés en triangle. La halle a 47 mètres de longueur sur 41 mètres de largeur. Les machines sont actionnées tantôt par la machine motrice de l'usine, tantôt par une petite machine spéciale.

Les trois lampes électriques remplacent 259 becs de gaz et produisent, au dire même de M. Ménier, cinq fois plus de lumière que le gaz n'en donnait. A Grenelle, comme à Noisiel et à Roye, on a adopté le même système de treuil

en caoutchouc avec câbles à deux conducteurs et la même disposition de commutateur permettant d'envoyer l'électricité de chaque machine dans n'importe quel régulateur.

Installations dans les filatures.

Parmi les installations de lumière électrique faites dans des filatures, nous citerons celle de Mme veuve Dieu-Obry, à Daours (Somme), celle de MM. Ricard fils, à Manresa (Barcelone) et celle de MM. Buxeda frères, à Sabadell (Espagne).

1° Filature de Mme veuve Dieu-Obry. — L'atelier a 3m,70 de hauteur sous plancher, 43 mètres de longueur et 11 mètres de largeur. Il renferme 9 métiers à doubler de 30 broches et 17 métiers à retordre de 52 broches. Cinquante personnes, tant ouvriers qu'ouvrières, y sont employées.

L'éclairage est obtenu par deux machines Gramme actionnées par le moteur hydraulique qui donne le mouvement aux métiers.

Les lampes sont suspendues à environ 2 mètres de hauteur et elles sont munies, chacune, d'un large abat-jour renversé. Cet abat-jour projette les rayons lumineux sur le plafond et les rayons se dispersent dans toutes les directions. On ne voit pas les foyers et, par suite, la vue ne peut se reposer que sur des surfaces très-éclairées, mais non incandescentes.

Nous avons déjà dit que le même artifice avait été employé avec succès chez M. Ménier, à Noisiel. La seule disposition spéciale, à Daours, consiste dans la hauteur des lampes, qui est nulle à Noisiel et à mi-hauteur de l'atelier à Daours. Du reste, le résultat est très-bon dans les deux installations.

Toutes les fois que l'on possédera un plafond très-blanc et un local ayant moins de 4 mètres de hauteur, on aura

avantage à employer la lumière réfléchie au lieu d'employer la lumière directe.

2° Filature de coton de MM. Ricard fils. — Le premier étage de cette filature a 33 mètres de longueur sur 21ᵐ,20 de largeur. Deux lampes éclairent 10 machines à filer Self-acting. Les machines Gramme sont placées à l'extrémité de l'atelier et sont mues par le moteur de l'usine au moyen d'une transmission intermédiaire. La hauteur des lampes est de 3ᵐ,40 et leur distance relative de 15 mètres. Nous représentons cette installation (fig. 41), par ce qu'elle est faite dans de très-mauvaises conditions au point de vue de la faible hauteur des plafonds; c'est une limite possible qui donne de bons résultats, mais qu'il ne faudrait pas dépasser pour conserver à la lumière électrique tous ses avantages.

Au deuxième étage, la partie occupée par les métiers a 16 mètres de longueur sur 21ᵐ,20 de largeur; une seule lampe suffit. Il y a là 5 machines Self-acting qui fonctionnent toutes les nuits, comme celle du premier étage, depuis le mois de mai 1876. Les propriétaires sont très-satisfaits de leur éclairage.

3° Tissage et filature de laine de MM. Buxeda frères. — La salle éclairée électriquement chez MM. Buxeda a 58 mètres de longueur sur 22 mètres de largeur; elle contient 13 machines à filer, 12 cardes, 1 battant et quelques autres machines accessoires. Les lampes, au nombre de 3, sont suspendues à 4ᵐ,20 de hauteur et distantes de 13 mètres l'une de l'autre. Il y a 4 ouvriers à chaque machine à filer, 3 à chaque groupe de deux cardes et 10 aux appareils accessoires, en tout 80 ouvriers dans la même salle.

Avec l'éclairage au gaz on ne pouvait pas faire certains travaux la nuit, à cause des différences observées dans les couleurs; maintenant on travaille nuit et jour sans arrêt

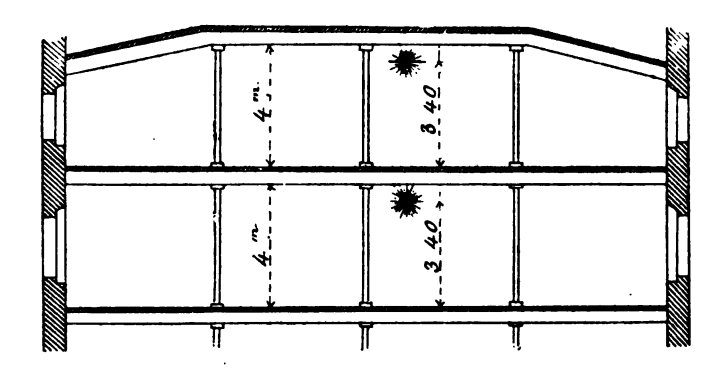


Fig. 41. Filature de coton de MM. Ricart fils.

et sans le moindre inconvénient, malgré les couleurs foncées des fils ouvrés.

L'installation électrique de MM. Buxeda fonctionne depuis six mois; la meilleure qualité des produits compense largement les frais de force motrice; l'éclairage en lui-même est, dès lors, beaucoup plus économique que celui du gaz ou du pétrole.

Gare des marchandises de la Chapelle-Paris.

A la suite d'expériences faites en 1876 à la gare des voyageurs à Paris, la Compagnie des chemins de fer du Nord jugea que l'application la plus utile pour elle, de l'éclairage électrique, était celle des halles à marchandises, dans lesquelles le travail se prolonge toute la nuit. Comme il s'agissait d'établir une petite usine complète, comprenant le bâtiment, le moteur, la transmission et les appareils Gramme, il était plus économique d'éclairer pendant toutes les nuits, afin de répartir l'amortissement de la dépense sur un plus grand nombre d'heures. C'est dans ces conditions favorables que la Compagnie voulut se placer.

Voici la désignation des espaces éclairés :

1° Une halle de 70 mètres de longueur sur 25 mètres de largeur et 8 mètres de hauteur au faîtage;

2° Un hangar de 70 mètres de longueur sur 15 mètres de largeur et 8 mètres de hauteur au faîtage;

3° Une cour de 20 mètres de largeur, séparant la halle du hangar.

La halle est éclairée par deux lampes placées sur une des diagonales et d'une façon dissymétrique par conséquent, ce qui est très-avantageux pour le service. Les lampes sont élevées à $4^m,50$ du sol et renfermées dans de grandes lanternes carrées. Les vitres de ces lanternes sont peintes au blanc de zinc à leur partie inférieure et jusqu'à

un niveau tel que, d'aucun point de la halle, l'œil ne puisse apercevoir l'arc voltaïque et en être affecté. La partie supérieure, au contraire, reste claire et le dessus des lanternes n'est même pas vitré, d'où il résulte que les rayons lumineux supérieurs vont sans obstacle frapper le plafond et les parois de la halle, grossièrement blanchis à la chaux, et réfléchissent une lumière douce et très-uniformément répartie.

L'éclairage de cette halle était l'objet principal qu'on avait en vue; il est très-abondant et cela est nécessaire parce qu'on y manutentionne des petits colis parmi des gros et qu'on a quantité d'étiquettes à lire; on y fait même des écritures correspondantes au mouvement des marchandises, qui arrivent, se distribuent et finalement se chargent dans des wagons amenés sur l'un des côtés de la halle.

On voit clair partout, sur les bureaux des écrivains, comme dans les parties les plus éloignées de l'espace en question, comme dans les petits passages ménagés entre les volumineux colis et malgré leur nombre; on y voit même suffisamment dans le fond des wagons couverts qui sont en chargement.

D'un document qui nous a été obligeamment communiqué avec l'autorisation de M. Sartiaux, ingénieur de l'exploitation, nous extrayons les passages suivants :

« L'éclairage fonctionne depuis le 17 janvier 1877 avec une durée quotidienne de 15 heures et demie en moyenne pour le premier mois et variable, bien entendu, avec la saison.

« La grande clarté répandue dans la halle permet de faire le travail avec une plus grande célérité et moins d'hommes; l'économie de personnel réalisée est évaluée à 25 pour 100.

« Chaque chef d'équipe n'a plus besoin de porter avec lui une lanterne à main pour chercher les colis, déchiffrer les

adresses et les marques et lire les feuilles de chargement; le travail se fait donc la nuit à peu près dans les mêmes conditions qu'en plein jour.

« Nous avons pris des mesures pour ne plus utiliser que deux halles au lieu de trois pour le service des expéditions, ce qui nous permettra d'économiser la construction d'une nouvelle halle.

« En dehors de ces résultats directs, l'éclairage électrique a donné les avantages indirects suivants, qui diminuent les indemnités payées par la Compagnie. Il diminue les erreurs de directions et les retards qui en sont la conséquence, les avaries produites dans le chargement..... »

Ajoutons qu'il met obstacle à diverses fraudes des expéditeurs et diminue les détournements.

Le hangar est éclairé par une seule lampe, et cela est suffisant parce qu'on n'y manie que de gros colis; la lanterne est semblable à celles de la halle; le blanchiment à la chaux a été expérimentalement reconnu ici nécessaire comme dans l'autre bâtiment.

La cour est éclairée surtout par la lampe du hangar, qui est absolument ouverte sur les côtés longitudinaux; il y vient aussi de la lumière par les portes de la halle lorsqu'elles s'ouvrent; au total, l'éclairage y est au moins aussi bon que dans les rues de Paris.

La distance moyenne des machines aux lampes est de 80 mètres.

La dépense est estimée aujourd'hui à $0^f,75$ par heure et par lampe. Ce chiffre sera grandement réduit quand on aura un nombre double de lumières, car le mécanicien et le lampiste suffiraient à un éclairage beaucoup plus important.

Les frais de premier établissement se sont élevés à 23 000 francs, y compris l'achat d'une machine à vapeur de force surabondante. Cette dépense ne sera que très-peu

augmentée, par l'addition de trois nouvelles machines Gramme.

Voici le détail des frais de premier établissement :

Une machine locomobile de 12 chevaux.	7900	francs.
Transmission, courroies, etc.	4348	—
Bâtiment	3560	—
Lanternes, fils et poulies.	793	—
Trois machines Gramme.	4500	—
Quatre lampes Serrin.	1800	—
Total.	23000	francs.

Sans rien exagérer, une installation analogue vaut 16000 francs; car la transmission, le bâtiment et la machine sont 30 pour 100 trop chers, eu égard, non à ce qu'on a fait, mais à ce qu'il était réellement nécessaire de faire.

Avant-port du Havre. — Entreprise Jeanne Deslandes.

Une des plus remarquables applications de l'éclairage à l'électricité est celle faite sur les chantiers de M. Jeanne Deslandes, au Havre.

On sait que cet entrepreneur termine, en ce moment, de grands travaux ayant pour objet l'agrandissement de l'avant-port du Havre et la création d'une annexe destinée aux bâtiments en relâche.

Ces travaux nécessitent la démolition d'ouvrages considérables tels que : le quai courbe et la jetée sud jusqu'à la mer, les écluses de chasse du bassin de la Floride, les murs de contrescarpe, le déblai de tous les terre-pleins compris dans cette vaste étendue, l'annexion de la majeure partie du bassin de la Floride, à l'avant-port. Ils auront pour résultat de donner à l'avant-port une largeur de 185 mètres, au lieu de 90 mètres, qui est sa dimension actuelle; la superficie nouvelle, en y comprenant le bassin

de la Floride, sera de 21 hectares au lieu de 11 hectares.

Pour l'exécution de toutes les maçonneries à bas niveau, le battage des pieux, la démolition des anciens murs, etc., on ne peut travailler qu'à marée basse et c'est pour utiliser les marées basses nocturnes que M. Chéron, directeur de l'entreprise, a fait installer deux machines Gramme, lesquelles fonctionnent depuis six mois dans d'excellentes conditions.

En visitant en détail les travaux en cours d'exécution, par une nuit sombre, dépourvue d'étoiles, nous avons constaté que des hommes, placés à des distances variant de 20 à 120 mètres des lampes, pouvaient se livrer à tous les travaux ordinaires sans le moindre inconvénient. Les mineurs perforaient l'ancien mur à 115 mètres du foyer le plus rapproché d'eux, et produisaient la même somme de travail que pendant le jour. Une locomotive, remorquant 10 wagons, circulait sur une voie de 1500 mètres, amenant des matériaux à pied d'œuvre et transportant les déblais aux emplacements désignés. Une équipe battait des pieux à l'aide d'une sonnette à vapeur. Des maçons, des charpentiers, des terrassiers, etc., exécutaient, çà et là, des travaux de toute nature. Plus de 150 ouvriers, sur un espace d'environ 30000 mètres carrés, travaillaient sans autre éclairage que celui produit par les deux machines Gramme.

Les foyers, placés dans des lanternes, sur un terre-plein, à 5 mètres de hauteur, se trouvaient en réalité à 15 mètres d'élévation de la plupart des parties en construction ou en démolition. A 115 mètres nous lisions distinctement un journal, mieux que nous ne l'eussions fait, éclairé par un bec de gaz placé à 5 mètres. Chaque lampe répandait une lumière de plus de 500 becs Carcel.

Nous engageons vivement les ingénieurs et les entrepreneurs de travaux publics à visiter l'installation de

M. Jeanne Deslandes : ils y trouveront la solution la mieux appropriée qui existe aujourd'hui de l'éclairage des travaux de nuit.

Usine de MM. Mignon, Rouart et Delinières, à Montluçon.

Dans leur fabrique de tubes en fer, à Montluçon, MM. Mignon, Rouart et Delinières, ont fait placer deux machines Gramme et deux lampes Serrin pour l'éclairage d'un des ateliers.

Le bâtiment, ainsi éclairé, est une halle de 63 mètres de longueur sur 35 mètres de largeur. Les lampes sont placées à 6 mètres de hauteur et à 31^{m},50 l'une de l'autre. Les ouvriers peuvent très-aisément faire leur travail et exécuter la manœuvre et le transport des pièces lourdes comme pendant la journée. Les ombres portées par les colonnes ou par l'outillage de l'usine sont assez peu sensibles pour qu'on puisse lire dans les parties où elles ont le plus d'intensité.

Une deuxième halle, adjacente à la première et séparée de celle-ci par un mur percé de larges baies, se trouve profiter de l'éclairage électrique, assez pour qu'on puisse lire partout, bien que certaines parties soient à 85 mètres des lampes.

On ne se sert à Montluçon que des crayons Gaudoin, qu'on trouve bien supérieurs aux charbons de cornue.

MM. Mignon et Rouart, satisfaits de cette première application, se disposent à éclairer complétement, avec des machines Gramme, les nouveaux ateliers qu'ils viennent de faire construire sur le boulevard Voltaire, à Paris.

C'est là une chose qui prouve beaucoup en faveur du système, que toutes les personnes qui en font déjà usage en étendent successivement l'application à tous leurs locaux susceptibles de le recevoir.

Plafond lumineux.

Il arrive souvent qu'une grande salle est mal éclairée pendant le jour, soit parce qu'elle fait partie d'un sous-sol, soit parce qu'elle est entourée d'autres pièces interceptant les rayons du soleil ; on peut alors établir un plafond lumineux et répandre dans la salle une lumière blanche, douce et tout à fait comparable à la lumière solaire. C'est ce que

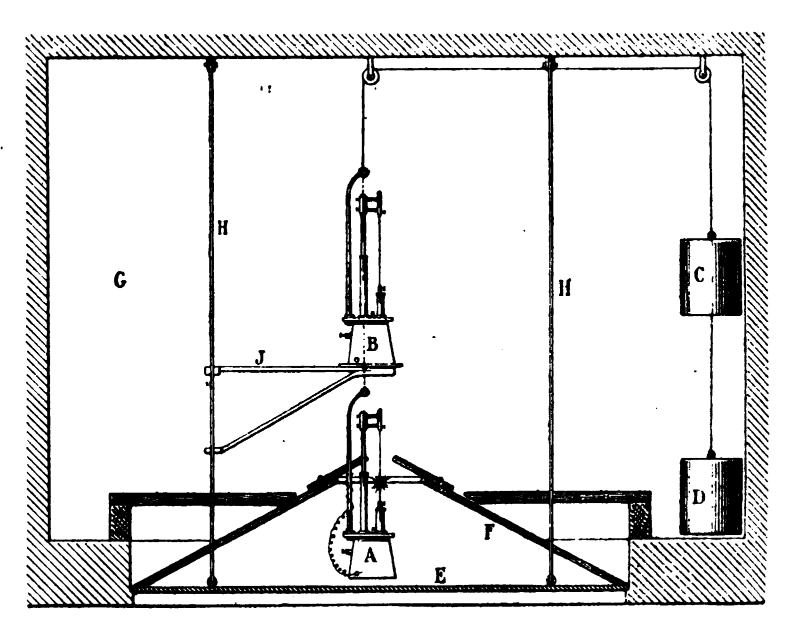


Fig. 42. Plafond lumineux.

nous avons fait dans une des salles des grands magasins du Louvre, à Paris, et ce que nous représentons figure 42.

Le compartiment G se trouve au-dessus et à peu près au milieu de la pièce à éclairer. Un régulateur A, équilibré par le contre-poids C, est mis en communication avec une machine Gramme actionnée par une locomobile et placée à 50 mètres du plafond. Une glace sans tain et dépolie E em-

pêche les rayons lumineux d'arriver trop directement dans la salle et de créer des ombres nuisibles. Quatre faces F, formant un tronc de pyramide renversé, sont garnies de ferblanc et reflètent en bas une grande partie de la lumière émise par le régulateur. Deux tringles HH supportent la glace dépolie E. Une deuxième lampe B, posée sur une console J et équilibrée par un contre-poids D, est préparée à l'avance et remplace la lampe A dès que les charbons de celle-ci sont usés. Par ce moyen, il n'existe aucune interruption dans la lumière.

Cette installation a été faite en février 1877, et elle n'a pas cessé de fonctionner depuis cette époque. La machine motrice provisoire n'ayant pas une vitesse très-régulière et les charbons des régulateurs n'étant pas bien homogènes, on remarque des petits scintillements et des variations assez sensibles dans l'intensité lumineuse, mais cet inconvénient n'est que temporaire; il disparaîtra complétement lorsque la machine définitive sera en place et le charbon actuellement employé, remplacé par celui de M. Gaudoin.

Port du canal de la Marne au Rhin à Sermaize.

L'éclairage électrique a été installé vers la fin de 1875 sur l'un des ports du canal de la Marne au Rhin, à Sermaize, port contigu à une sucrerie. On voulait continuer pendant les longues nuits d'hiver le déchargement, si pressé alors, des bateaux de betteraves et en conduire immédiatement le contenu à l'usine, sans mise en dépôt sur le terre-plein du canal. Il importait d'ailleurs que le terre-plein restât libre en tout sens pour la circulation. Ce problème spécial fut résolu grâce à une machine Gramme de 200 becs, placée auprès d'une des machines à vapeur de l'usine, à 70 mètres de distance de la lampe. Les ouvriers, qui déchargent souvent deux bateaux simultanément, peuvent travailler sans

le moindre embarras. Ce fait a été constaté par l'ingénieur du canal et par le directeur de la sucrerie; ce dernier nous a écrit qu'il était très-content de cet éclairage, que la machine Gramme atteignait à merveille le but qu'il s'était proposé et lui économisait au moins 10 francs par heure.

Il est bon de dire que dans les sucreries la dépense occasionnée par l'éclairage électrique est à peu près limitée aux baguettes de carbone des lampes, car la vapeur dont on se sert pour actionner le moteur peut être utilisée à nouveau en sortant de l'échappement.

Éclairage d'une piste de patinage.

La Société de patinage de Vienne (Autriche) a fait installer l'éclairage à l'électricité dans la grande piste qu'elle possède près *Park-Ring*. C'est l'installation en plein air la plus réussie qui soit à l'étranger.

La surface du banc de glace est de 5 700 mètres carrés.

La longueur de l'emplacement éclairé, y compris le promenoir, est de 133 mètres.

La largeur totale dudit emplacement est de 57 mètres.

La lumière est fournie par deux machines Gramme de 3 000 francs pièce, placées à 135 mètres de la piste et actionnées par une locomobile de 8 chevaux.

Les lampes sont du système Serrin. Elles sont placées à la partie supérieure de deux pylônes en sapin de $7^m,50$ d'élévation. Leur écartement est de 57 mètres.

Deux abat-jour empêchent la lumière d'éclairer, en pure perte, le haut de l'espace et ramènent tous les rayons sur la surface glacée. A cet effet, les huit segments qui composent chacun de ces abat-jour sont courbés suivant une ellipse, laquelle a l'un de ses foyers au point lumineux, et l'autre, un peu plus bas, à 1 mètre de distance.

Tous les points de l'emplacement sont très-bien éclairés et l'ensemble de l'installation est des plus satisfaisants.

Il est à remarquer qu'aucun autre système d'éclairage n'aurait pu donner un aussi bon résultat, car la principale condition d'une piste de patinage c'est de n'être pas encombrée en son milieu par une série de poteaux. Chacun sait d'ailleurs combien le gaz éprouve de variations en plein air, et quelle dépense considérable il exigerait pour éclairer convenablement un espace de 5 700 mètres carrés.

La meilleure preuve que nous puissions donner de la réussite de cette installation, c'est que la Société de patinage qui avait pris les appareils en location, vient de les acheter définitivement.

Applications diverses.

Nous aurions encore beaucoup d'autres installations à décrire, mais celles qui précèdent suffiront sans doute, pour faire apprécier les services de toute nature que peut rendre l'éclairage à l'électricité. Une indication sommaire de quelques applications importantes complétera ce chapitre.

La fonderie de canons de Bourges possède 11 appareils complets pour ses divers ateliers; la maison Cail, à Paris, a 3 foyers électriques éclairant une halle de montage de 5 000 mètres carrés; la Société des forges et chantiers de la Méditerranée a 7 machines Gramme dans ses ateliers du Havre; les ateliers de constructions mécaniques de Pantin ont 4 appareils complets. Les ateliers de MM. Crespin et Marteau, à Paris; Beaudet, à Argenteuil; Thomas et Powel, à Rouen; Ackermann, à Stockholm; Avondo, à Milan; etc., sont également pourvus de machines Gramme.

Citons encore les ateliers de Fives-Lille, les ateliers de Tarbes, les ateliers de constructions mécaniques de Barce-

lone; les gares du Midi, de Bruxelles; les forges de Fourchambault; les fonderies de Bessèges et de Fumel, etc.

La qualité que possède la lumière électrique de conserver les nuances aux couleurs a été utilisée dans plusieurs manufactures, notamment dans la teinturerie de MM. Guaydet père et fils, à Roubaix, et dans celle de MM. Hannart frères, à Wasquehal. MM. Hannart ont constaté que l'on pouvait teindre des gris-perle à la lumière électrique et que leur production a augmenté notablement depuis l'installation de la machine Gramme.

On installe l'éclairage à l'électricité dans les ateliers de M. de Quillacq, à Anzin; dans le tissage de M. Baudot, à Bar-le-Duc; dans la blanchisserie des hospices de Lyon, etc. Plus de 100 nouvelles installations sont décidées, un grand nombre s'achèvent.

CHAPITRE VIII.

APPLICATIONS AUX PHARES, AUX NAVIRES ET AUX PLACES FORTES.

Eclairage des phares. — Phare de la Hève. — Rapport de M. Quinette de Rochemont. — Divers phares éclairés électriquement. — Installation faite à bord du steamer *l'Amérique*, de la Compagnie transatlantique. — Rapport du capitaine Pouzolz. — Premières tentatives par la Société *l'Alliance*. — Installation à bord du *Livadia*. — Projecteur Sautter. — Applications aux opérations militaires. — Expériences faites au mont Valérien. — Projecteur Mangin. — Machine locomobile actionnée par une machine Brotherhood. — Machine Gramme pouvant doubler instantanément sa lumière.

La lumière électrique est employée avec succès dans les phares, sur les navires et dans les opérations du génie militaire. Elle rend visibles, la nuit, à des distances variant de 2 000 à 6 000 mètres, des objets tels que balises, navires, côtes, maisons, hommes, levées de terre, etc. Elle permet d'établir une correspondance télégraphique, soit par transmission directe de la lumière d'un poste d'observation à l'autre, soit par la réflexion sur un objet intermédiaire visible à la fois de deux postes quand ceux-ci ne peuvent pas communiquer directement.

Éclairage des phares.

C'est en 1863 que la lumière électrique fut, pour la première fois, appliquée à l'éclairage des phares. L'essai en fut fait, avec une machine de *l'Alliance*, au phare de premier ordre de la Hève, près du Havre, et les résultats en furent si satisfaisants, qu'il n'est pas douteux que tous les phares

eussent été munis immédiatement de feux électriques, sans les dépenses assez élevées exigées par un remaniement général. On a constaté que le phare à l'électricité était vu en moyenne à 8 kilomètres plus loin que le phare à l'huile, et qu'en temps de brume la portée de la lumière était sensiblement plus du double avec le premier qu'avec le second.

M. Quinette de Rochemont, ingénieur des ponts et chaussées, a publié, en 1870, sur les phares de la Hève, une note dont voici quelques extraits :

« Depuis six années que la lumière électrique a été installée pour la première fois à la Hève, il s'est écoulé un temps suffisant pour qu'on ait pu se faire une idée exacte de la valeur de ce mode de production de lumière, au point de vue de l'éclairage des côtes.

« Les navigateurs se plaisent à reconnaître les bons services que leur rendent les phares électriques ; les avantages du système ont été vivement appréciés ; l'augmentation de portée des feux est très-sensible, surtout par des temps un peu brumeux ; elle permet à bien des navires de continuer leur marche et d'entrer au port la nuit, alors qu'ils n'auraient pas pu le faire avec les phares à l'huile.

« La lumière, qui d'abord laissait un peu à désirer par sa mobilité, est arrivée peu à peu à avoir une fixité remarquable, grâce au perfectionnement des appareils et à l'expérience acquise par les gardiens.

« Les craintes que l'on avait pu concevoir, *à priori*, eu égard à la délicatesse de certains appareils, ne se sont pas réalisées dans la pratique. Les accidents ont été rares, les extinctions courtes et peu nombreuses ; deux seulement, pendant cette période de six années, ont eu une durée notable : l'une, d'une heure, tient à une avarie à la machine à vapeur ; l'autre, de quatre heures, paraît devoir être attribuée à la malveillance. Dans ces circonstances, il semble

qu'il n'y a pas trop lieu de se préoccuper des accidents possibles. »

Il existe aujourd'hui un certain nombre de phares électriques en France, en Angleterre, en Russie, en Autriche, en Suède et en Egypte. Partout on est satisfait de leur fonctionnement.

Jusqu'ici on n'a essayé dans tous ces phares que des machines magnéto-électriques de 200 becs Carcel, mais nous savons de bonne source que l'Administration française des phares, jalouse de rester la première dans la voie qu'elle a tracée, va expérimenter une machine Gramme de 2000 becs. Sans aucun doute, cette machine augmentera sensiblement les avantages déjà reconnus de l'électricité sur l'huile et déterminera peut-être une transformation radicale dans l'éclairage actuel des phares.

Éclairage des navires.

Pour bien faire connaître les avantages de l'éclairage électrique à bord des navires, nous allons d'abord reproduire la note que nous avons publiée l'année dernière dans *le Moniteur de la Flotte* et nous donnerons ensuite quelques renseignements sur les applications à la marine de guerre :

Le paquebot *l'Amérique*, appartenant à la Compagnie générale transatlantique, est, depuis la fin de mars 1876, pourvu d'une machine Gramme et des divers appareils propres à la production de la lumière électrique.

L'installation, qui a été faite sous notre direction avec le concours de MM. Sautter et Lemonnier, est due à l'initiative personnelle de M. Eugène Pereire. La machine Gramme a été construite par l'inventeur lui-même, sur un type essentiellement nouveau. Tous les détails du projet ont été préalablement soumis à M. Audenet, ingénieur en chef

de la Compagnie transatlantique, qui nous a beaucoup aidé de ses conseils.

Les expériences, dirigées avec autant de compétence que d'initiative par M. le commandant Pouzolz, pendant l'aller et le retour d'un premier voyage du Havre à New-York, ont été couronnées d'un succès complet. M. Pouzolz, dès son retour, a présenté au Conseil d'administration un rapport circonstancié sur les avantages du système, et la Compagnie a immédiatement commandé un matériel semblable pour le paquebot *la France*, de la ligne du Havre à New-York, et un matériel de moindre importance pour *la Ville-de-Brest*, faisant le service des Antilles. De sorte que bientôt trois navires de la Compagnie générale transatlantique seront munis de feux électriques.

La lumière électrique appliquée à la navigation a principalement pour objet d'augmenter la sécurité des voyages, en évitant les abordages et en facilitant l'entrée des ports. Elle peut aussi permettre d'opérer les chargements, les déchargements et les manœuvres de toute sorte par une nuit sombre, aussi bien qu'en plein jour.

L'installation faite à bord de *l'Amérique* comprend : un fanal, un générateur d'électricité, une lampe portative et divers organes accessoires.

Le fanal est placé à la partie supérieure d'une tourelle en tôle, dans laquelle on monte par des échelons intérieurs sans qu'il soit nécessaire de passer sur le pont, car la tourelle surmonte le capot d'un escalier de service. Cette disposition est très-avantageuse, surtout pendant les gros temps, où l'avant du navire est difficilement accessible par le pont. La tourelle avait primitivement 7 mètres de hauteur; M. Pouzolz l'a fait diminuer de 2 mètres, pour lui donner plus de stabilité et pour abaisser le niveau de la tranche lumineuse; de sorte que cette tourelle a aujourd'hui 5 mètres au-dessus du pont. Son diamètre est de 1 mètre.

Elle est fixée à l'avant du paquebot, à 15 mètres de l'étrave.

Le fanal proprement dit est à verres prismatiques ; il peut éclairer un arc de 225 degrés, en laissant le paquebot presque entièrement dans l'ombre. Le régulateur électrique est du système Serrin. L'appareil est suspendu à la Cardan ; un petit siége ménagé dans le haut de la tourelle permet au surveillant chargé du service de régler la lampe sur place. La tranche lumineuse a environ $0^m,80$ d'épaisseur.

La machine magnéto-électrique Gramme a une puissance de 200 becs Carcel, son poids est de 200 kilogrammes ; elle est actionnée par un moteur à trois cylindres système Brotherhood. La vitesse de régime est de 850 tours à la minute pour la machine Gramme comme pour son moteur (les axes de ces deux appareils sont simplement réunis par un manchon d'entraînement). L'emplacement exigé pour les deux machines ne dépasse pas $1^m,20$ de longueur, $0^m,65$ de largeur et $0^m,60$ de hauteur.

Les câbles qui réunissent le fanal ou la lampe mobile au générateur d'électricité sont bien isolés. La section totale des fils qui les constituent est de $0^{m2},00016$. La machine Gramme et son moteur sont placés sur un faux plancher dans la chambre de la machine motrice, à 40 mètres environ du fanal.

Tous les fils passent par la cabine du commandant, lequel a sous la main des commutateurs lui permettant de faire naître ou d'interrompre à volonté la lumière dans chacune des lampes, alternativement ou simultanément et sans que la machine Gramme s'arrête.

La nouveauté de l'installation de *l'Amérique* réside dans l'intermittence automatique de la lumière du fanal. Cette intermittence est obtenue par un petit mécanisme très-simple fixé à l'extrémité libre de l'arbre de la machine Gramme. Un fil spécial permet cependant au commandant

de faire briller une lumière fixe et continue dans le fanal; mais cette manœuvre est tout exceptionnelle, et en général les éclats et les éclipses se succèdent sans cesse. La machine Gramme, comme nous l'avons dit, ne s'arrête pas, elle tourne pendant toute la durée de la marche des appareils; mais l'électricité se rend tantôt dans la lampe du fanal entre deux pointes de charbon d'où jaillit la lumière, tantôt dans un faisceau métallique fermé qui s'échauffe et se refroidit alternativement. Un dessin serait nécessaire pour faire bien comprendre l'organe d'interruption; nous pouvons cependant en donner une idée assez précise.

La machine est animée d'une vitesse de 850 tours à la minute; au moyen de deux vis sans fin et de deux roues d'engrenages, on fait tourner un disque, 1 700 fois moins vite, c'est-à-dire qu'on lui donne une vitesse d'un tour en deux minutes. Le disque est double dans le sens de son épaisseur et il est formé de bois et de cuivre. Deux petits frotteurs appuyés chacun sur une des parties du disque communiquent, l'un avec les conducteurs du fanal, l'autre avec les fils destinés à équilibrer la résistance électrique de la lampe. L'appareil est combiné de façon à ce que le frotteur d'une partie du disque se trouve sur le cuivre, tandis que l'autre est sur le bois, ce qui résout d'une manière très-satisfaisante le problème de l'intermittence du feu dans le fanal. D'après les calculs de M. Pouzolz, la meilleure relation entre les arcs métalliques et isolants du disque est celle qui produit alternativement 20 secondes d'éclat et 100 secondes d'éclipse. Rien n'est d'ailleurs plus facile que de modifier cette proportion, même en route; il suffit pour cela de se munir d'une série de disques ayant des garnitures métalliques plus ou moins grandes.

Placé sur un sol peu stable en lui-même, le moteur Brotherhood a donné lieu à des vibrations intenses et à un bruit si exagéré, qu'il devenait impossible de s'entendre

dans la chambre des machines; mais cet inconvénient disparaîtra complétement dans les autres installations, qui posséderont des moteurs à peu près silencieux.

La hauteur du foyer lumineux est de 10 mètres au-dessus de l'eau. La portée possible de la lumière, eu égard à la dépression de l'horizon, est de 10 milles marins (18 520 mètres) pour un observateur ayant l'œil à 6 mètres au-dessus de l'eau.

Dans le but d'éclairer les huniers et les perroquets tout en laissant les basses voiles dans l'obscurité, M. Pouzolz a fait construire un tronc de cône en fer blanc et l'a placé sur la lampe mobile, la large ouverture en l'air. De cette façon *l'Amérique* était vue de très-loin par les bâtiments et les sémaphores, quand il convenait au commandant de laisser la lumière électrique en fonction continue pendant toute la nuit. C'est certainement là une bonne idée qui rendra de grands services dans les atterrissages.

Ce que nous avons tous cherché, en étudiant l'installation de *l'Amérique*, c'est d'éviter les inconvénients plus ou moins sérieux qui nous avaient été signalés et qui peuvent se résumer ainsi : la lumière électrique crée autour d'elle un nuage blanchâtre qui fatigue la vue et nuit aux observations; le feu fixe électrique, par sa grande intensité, fait disparaître les feux réglementaires vert et rouge, ce qui constitue un vrai danger; près des côtes les bâtiments peuvent prendre le fanal électrique pour un phare et faire fausse route; enfin les appareils sont encombrants et leur prix d'installation est trop considérable eu égard aux services rendus.

Les appareils Gramme ne coûtent pas cher, ils sont très-faciles à installer et à manœuvrer, ne courent aucun risque de dislocation et ils n'exigent enfin qu'un emplacement très-restreint. Les autres objections sont levées par l'emploi de feux intermittents, M. Pouzolz termine son rapport en

déclarant ***que la lumière faite par courts éclats n'a jamais gêné la vue d'aucun officier de quart, ni des hommes de veille au bossoir, et que l'éclat des feux de côtés vert et rouge n'est en rien diminué par l'usage du phare de l'avant.***

Après des expériences aussi concluantes, il semble que rien ne doive plus s'opposer à l'adoption immédiate de la lumière électrique sur tous les navires, car il est bien prouvé que la plupart des collisions proviennent de la difficulté qu'éprouvent les capitaines à relever la position exacte du navire qui approche, et c'est surtout en navigation que les questions de sécurité doivent primer toutes les autres. Cependant nous ne croyons pas que l'application s'en généralisera vite ; ce n'est que petit à petit, après de nouvelles séries d'essais, que la lumière électrique prendra définitivement possession de l'Océan. Nous désirons même que les choses se passent ainsi, car si nous avons réussi à annuler les inconvénients qu'on nous avait signalés, nous espérons bien, dans les installations qui vont suivre, apporter des améliorations importantes. A notre avis, les véritables progrès ne se développent que très-lentement, mais aussi, dès que l'expérience les a consacrés, ils restent à l'abri des revirements si communs dans l'histoire des innovations scientifiques et industrielles.

Les essais qui réussissent trop vite amènent le plus souvent de graves déceptions, et s'il nous fallait une preuve de cette assertion, nous la trouverions précisément dans les premières tentatives d'installation de l'électricité sur les navires.

Il y a dix ans que M. Berlioz, alors directeur de la Société ***l'Alliance***, installait à bord du ***Jérôme-Napoléon*** une machine électrique avec un projecteur placé à quelques mètres au-dessus du pont et destiné à diriger la lumière sur l'horizon. Le succès de cette première application fit beaucoup de bruit et amena d'autres commandes à la même société.

Parmi les applications qui suivirent, nous citerons celles du ***Saint-Laurent***, du ***Forfait***, du ***d'Estrées*** et celle plus récente de ***la France*** de la Société des transports maritimes de Marseille. Eh bien, à l'exception de la dernière, dont nous ignorons le sort, il ne reste rien de toutes ces installations, et nous avons vu à Saint-Nazaire la carcasse tout oxydée de l'appareil électrique du ***Saint-Laurent***.

Cependant les machines de ***l'Alliance*** étaient bonnes, les rapports des capitaines sur leur emploi étaient favorables et ce n'est malheureusement pas que les sinistres maritimes soient devenus plus rares.

Les causes de l'insuccès viennent surtout de ce qu'on n'a pas eu assez de constance dans les expériences, qu'on s'est arrêté au moindre inconvénient qui a surgi, au lieu de chercher à l'annuler. Le déplacement dans les commandements a également nui au maintien des appareils à bord.

Il y a aussi le point de vue économique, qui, ici comme partout ailleurs, a joué un grand rôle : on espérait qu'en augmentant la sécurité, les Compagnies d'assurance feraient une réduction dans les primes : ce résultat n'ayant pu être obtenu, on est bientôt arrivé à considérer l'appareil électrique comme un objet de luxe. De là l'abandon du système essayé souvent à grands frais.

En moins de deux ans nous venons, à notre tour, d'installer des machines Gramme à bord de plusieurs navires de guerre français, danois, russes, anglais et espagnols; nous reprenons à la Compagnie transatlantique la suite d'expériences depuis longtemps interrompues et nous avons l'espoir de voir nos efforts aboutir à la réalisation complète du problème.

Jusqu'à présent nous n'avons éprouvé aucun mécompte et nous travaillons sans cesse à améliorer nos premières dispositions afin d'en tirer encore un meilleur parti.

Parmi les applications récentes nous citerons celles faites

par MM. Sautter, Lemonnier et Ce sur *le Livadia* et *le Pierre-le-Grand* de la marine russe, *le Richelieu* et *le Suffren* de la marine française, etc., etc.; et celles faites par M. Dalmau à bord des navires cuirassés espagnols *Rumancia* et *Vitoria.*

Le Livadia est muni d'une machine Gramme donnant 500 becs Carcel environ, avec laquelle on distingue nettement des édifices à une distance de 3 000 mètres. Plusieurs fois il est entré la nuit et s'est mis à quai dans les ports d'Odessa et de Constantinople aussi facilement que s'il eût fait jour.

La lumière électrique lui fut particulièrement utile une nuit, à l'entrée de l'hiver, où, le froid continu qui régnait depuis plusieurs jours s'étant encore accru pendant sa navigation, il craignait d'être pris par les glaces. Il fallait aller chercher de suite un refuge dans une rivière à l'entrée de laquelle la barre ne laisse qu'un chenal balisé d'une vingtaine de mètres. Grâce à son projecteur, il distingua parfaitement le chenal et atteignit à toute vitesse l'abri de la rivière.

A bord de tous ces navires l'éclairage électrique a été utilisé avec grand succès pour renouveler la provision de charbon sans attendre le jour.

La marine française vient d'installer à bord du *Richelieu*, et installera bientôt à bord du *Suffren*, des machines Gramme de 500 becs commandées directement par une machine Brotherhood et envoyant la lumière par des projecteurs lenticulaires.

Le nouvel engin d'attaque, la *torpille*, portée ou remorquée, met, on le sait, les plus gros cuirassés à la merci d'un de ces rapides canots porte-torpilles. L'expérience a en effet démontré que, quelque vigilante que soit la surveillance à bord d'un navire de haut bord, une attaque nocturne par une chaloupe porte-torpille réussit souvent. Le bateau rapide filant à 15 ou 18 nœuds est arrivé à son but avant

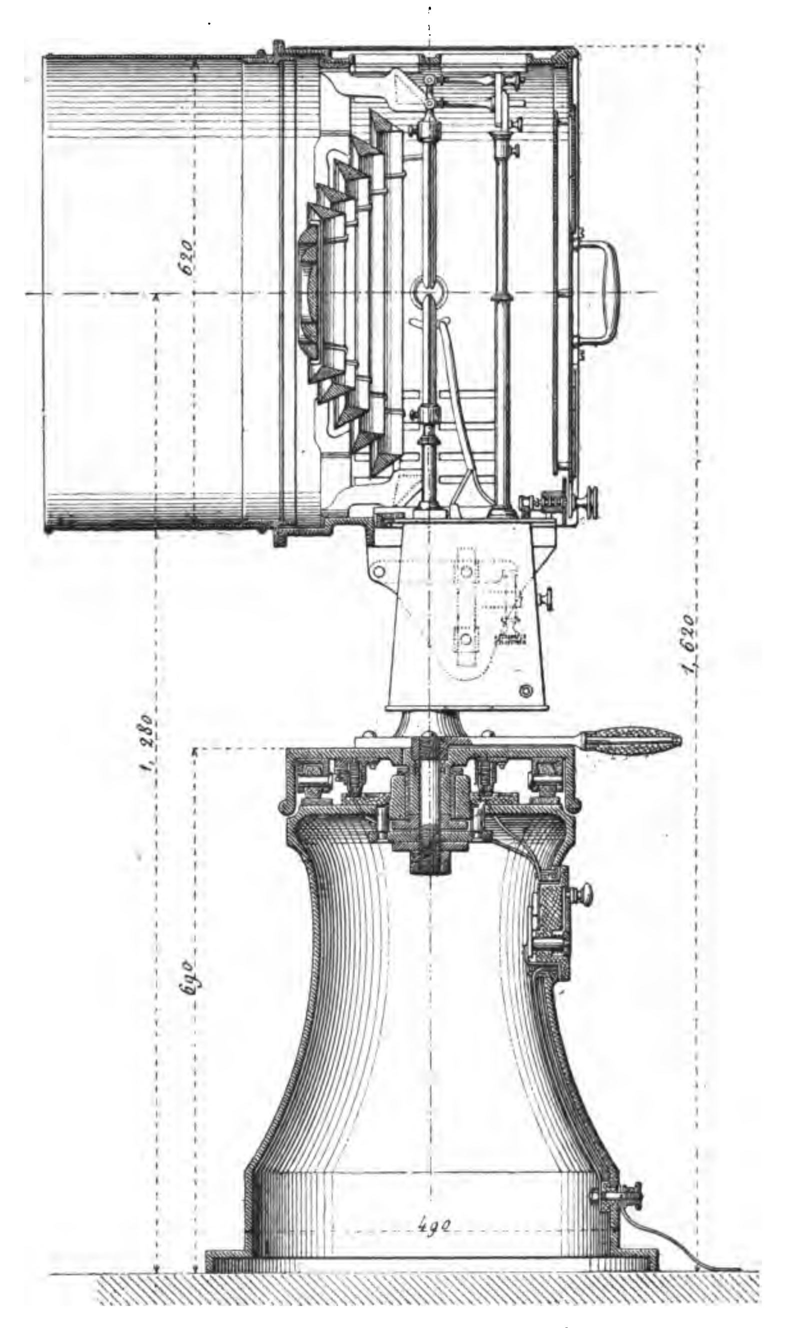


Fig. 43. Projecteur Sautter et Lemonnier.

qu'on ait soupçonné sa présence. Il en est autrement si le navire, but de l'attaque, peut explorer l'horizon dans toutes les directions à une distance de deux à trois milles. Il voit l'ennemi une dizaine de minutes avant d'être atteint, c'est assez pour se défendre, si même cette attaque n'est pas empêchée par le seul fait qu'elle est découverte.

Les installations à bord des navires sont complétées par un projecteur lenticulaire combiné par MM. Sautter et Lemonnier. Ce projecteur, que nous représentons figure 43, a pour fonction de concentrer en un faisceau cylindrique, les rayons émanés de la lampe et de donner à l'opérateur les moyens faciles de diriger la lumière sur un point quelconque de l'espace. A cet effet, l'arc voltaïque d'un régulateur Serrin est placé au foyer d'une lentille de Fresnel de $0^m,60$ de diamètre composée de 3 éléments dioptriques et de 6 éléments catadioptriques. La lampe et la lentille sont portées dans un tambour en fonte mobile autour de son axe vertical et oscillant autour de son axe horizontal, sans que les positions relatives de la lampe et de la lentille changent; d'où il résulte qu'en repos comme en mouvement, le point lumineux reste au foyer optique et ses rayons continuent à être envoyés dans l'espace en faisceau suivant l'axe optique de la lentille.

Les mouvements tournant et oscillant peuvent être successifs ou simultanés; ils ont pour objet de diriger l'axe optique et, par suite, le faisceau lumineux dans toutes les directions et sous toutes les inclinaisons.

L'opérateur est placé debout derrière le projecteur, il effectue ses manœuvres au moyen de poignées disposées très-commodément.

Par le seul fait de son introduction dans l'appareil, la lampe est mise dans le circuit électrique et ne cesse de s'y trouver quels que soient les mouvements imprimés au cylindre mobile.

Une petite lunette placée sur un des tourillons du cylindre projette sur un écran de verre dépoli l'image des charbons et permet de suivre la marche de la lampe sans qu'il soit nécessaire d'ouvrir le cylindre. Une vis fait varier la position de la lampe lorsqu'il s'agit de ramener au foyer le point lumineux ou de l'en écarter pour produire une divergence plus ou moins grande du faisceau. Une deuxième vis et une manette servent à maintenir le faisceau dans une direction déterminée : la vis en arrêtant le mouvement tournant, la manette en empêchant l'oscillation.

Pour les usages de l'artillerie une disposition particulière permet de déplacer lentement, au moyen de vis tangentes, le faisceau lumineux, afin de l'amener exactement dans une direction déterminée à l'avance.

L'appareil complet est placé sur un socle en fonte qui se fixe sur la passerelle d'un navire, à l'intérieur d'une casemate dans un fort, ou sur un chariot mobile. A l'aide d'un interrupteur on supprime à volonté le courant sans qu'il soit utile d'arrêter la machine.

Applications aux opérations militaires.

Plusieurs gouvernements ayant demandé des machines Gramme très-puissantes pour la défense des places fortes, l'inventeur, d'accord avec MM. Sautter, Lemonnier et Ce, a étudié une machine spéciale montée sur locomobile et actionnée par une machine à trois cylindres, système Brotherhood (fig. 44).

Les électro-aimants de la machine sont plats et très-larges; la bobine possède deux recueilleurs de courant. Un commutateur monté sur les armatures permet de coupler la machine en tension ou en quantité instantanément.

La chaudière est du système Field à tubes pendentifs. Les longerons sont en fer en E. L'ensemble de l'appareil

possède les qualités de légèreté et de puissance nécessaires à un bon service. Il a été adopté par la France, la Russie et la Norwége.

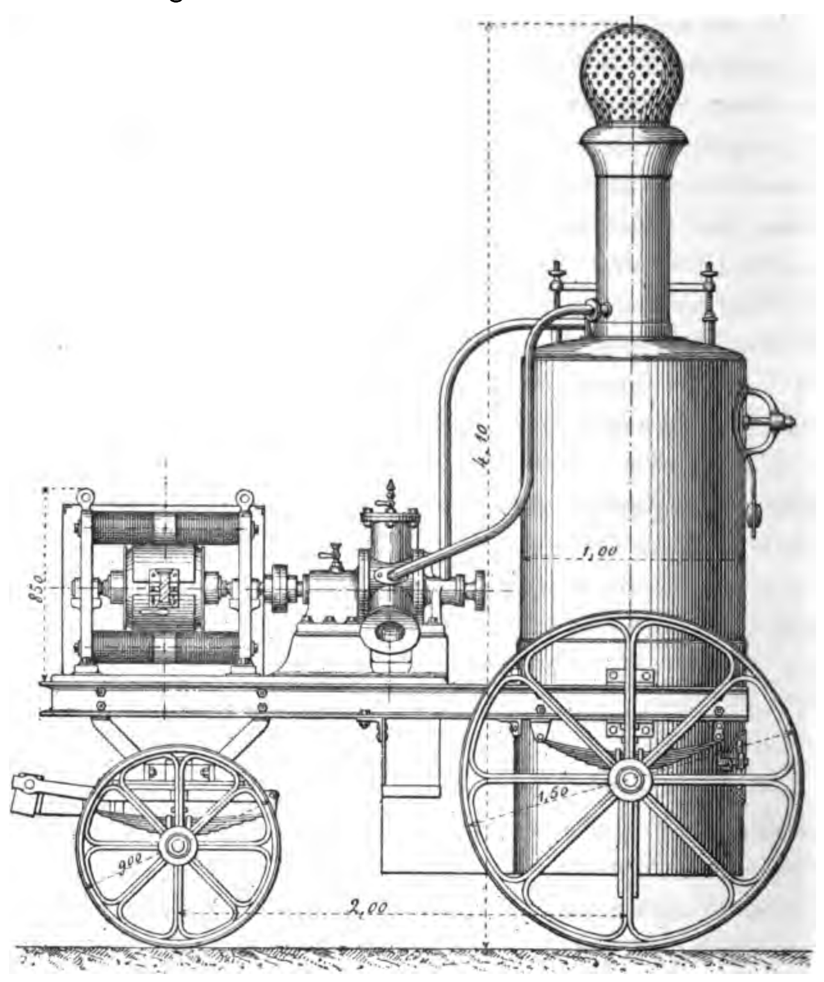


Fig. 44. Machine Gramme locomobile.

Il résulte d'expériences faites au mont Valérien avec une machine Gramme ainsi disposée et un projecteur spécial, qu'un observateur placé à côté des appareils peut voir des objets placés à 6 000 mètres de distance et distinguer nettement des détails de construction à 5 200 mètres.

La machine Gramme avait une puissance de 2500 becs. Le projecteur, de l'invention de M. Mangin, lieutenant-colonel du génie, au lieu de concentrer la lumière par simple réfraction, la concentrait par réfraction et réflexion; ce qui permettait d'obtenir une concentration complète des rayons et de doubler leur portée.

Ces expériences, qui avaient été faites par des temps peu obscurs avec un état atmosphérique assez transparent, ont été répétées par des nuits sombres, et ont de nouveau très-bien réussi. La lumière a été produite au moyen de deux câbles, à 1000 mètres des appareils, sans diminution sensible d'intensité.

Un avantage capital que possède la machine Gramme sur toutes les autres pour les opérations militaires, c'est de pouvoir, par la simple manœuvre d'un commutateur, donner instantanément une lumière deux fois plus forte ou réciproquement. Ce résultat est obtenu en couplant la machine en tension ou en quantité. Dans le premier cas elle tourne à 600 tours, dépense 4 chevaux de force et donne 1 000 à 1 200 becs; dans le second cas elle tourne à 1 200 tours, dépense 8 chevaux et donne 2 000 à 2500 becs. Quand le temps est clair on opère avec la machine couplée en tension, la dépense de vapeur est faible, la conduite facile et les crayons électriques se consument lentement. Quand le temps est brumeux ou très-obscur, on dispose la machine en quantité, la dépense de vapeur augmente, la conduite demande un peu plus de soin et les crayons électriques s'usent plus vite. Mais dans les deux cas la machine Gramme ne fatigue pas, ne s'échauffe pas, ne s'altère dans aucune de ses parties.

Avec un moteur Brotherhood, le changement de puissance s'effectue instantanément.

Pour les signaux de guerre, M. Gramme a étudié une machine de très-petites dimensions qu'on peut faire mou-

voir à bras. Cette machine, actionnée par 4 hommes, produit une lumière équivalente à 50 becs Carcel environ. Elle a des électro-aimants plats, est montée sur chariot, et reçoit le mouvement de deux manivelles agissant sur un double jeu d'engrenages. Sa construction est rustique et convient éminemment au rôle qu'elle est appelée à remplir. Le gouvernement français vient d'en acquérir deux exemplaires pour l'armée.

CHAPITRE IX.

FORCE MOTRICE ABSORBÉE PAR LES MACHINES GRAMME.

Expériences directes. — Rapport de M. Tresca à l'Académie des sciences sur la force dépensée par deux machines Gramme ayant respectivement 1850 et 302 becs de puissance. — Rapport de M. Hagenbach, de Bâle, sur une machine de 80 becs. — Intensité du courant. — Force électro-motrice, travail absorbé. — Rapport de MM. Schneider et Heilmann sur le pouvoir éclairant et la dépense des quatre machines installées dans les ateliers Ducommun, de Mulhouse.

Un grand nombre d'expériences ont été faites dans le but de déterminer la quantité de travail absorbée par les machines Gramme, mais aucune d'elles n'a pu donner de résultats bien précis et bien concordants, à cause de la difficulté d'évaluer rigoureusement la lumière émise par un foyer quelconque et celle non moins grande de calculer le travail moteur au moment même de l'expérience photométrique.

Personnellement, nous avons maintes fois constaté qu'avec une force de 3 chevaux on pouvait obtenir jusqu'à 600 becs Carcel, et qu'en prenant pour base, dans les calculs, un demi-kilogrammètre par bec, on était sûr de ne pas se tromper.

M. Gramme a, depuis quatre ans, beaucoup amélioré sa machine, au point de vue de la dépense de force motrice ; son type pour atelier, qui produisait au début 100 becs avec 3 chevaux, produit aujourd'hui 450 becs avec 2 chevaux.

Parmi les expériences les plus intéressantes faites sur les machines Gramme, nous rendrons compte : 1° de celles de M. Tresca, de l'Institut ; 2° de celles de M. Hagenbach, professeur à l'Université de Bâle ; et 3° de celles de M. Schnei-

der, professeur de physique à l'Ecole professionnelle de Mulhouse. Ces dernières ont été faites en collaboration avec M. Paul Heilmann, manufacturier.

1° Expériences de M. Tresca.

Les expériences de M. Tresca ont été réalisées dans les ateliers de MM. Sautter, Lemonnier et Ce, à Paris, le 16 octobre 1875, sur une machine de grande puissance, et, le 4 décembre de la même année, sur une machine de moyenne puissance.

La première de ces machines est représentée page 116. Voici ses principales données numériques :

Électro-aimant.

Diamètre du fer d'un électro-aimant.	0^{m},070
Longueur du fer d'un électro-aimant	0 ,404
Diamètre de chaque électro-aimant garni de fil. . .	0 ,132
Diamètre du fil.	0 ,0033
Poids du cuivre enroulé sur chaque électro-aimant.	24^{k},000

Bobine.

Diamètre extérieur de l'anneau de fer doux.	0^{m},175
Diamètre intérieur de l'anneau de fer doux. . . .	0 ,157
Largeur de l'anneau de fer doux.	0 ,119
Diamètre extérieur de la bobine.	0 ,230
Diamètre intérieur de la bobine.	0 ,220
Poids total du fil enroulé.	14^{k},000
Diamètre du faisceau de conducteur	0^{m},090
Diamètre du fil enroulé.	0 ,0026

Fil conducteur de la machine à la lampe.

Diamètre	0^{m},0078
Section	0^{m2},000047

Machine.

Longueur totale, poulie comprise.	0^{m},800
Hauteur totale	0 ,585
Largeur totale.	0 ,550

La seconde machine avait été construite par M. Gramme, pour servir tout spécialement dans l'éclairage des grands espaces à découvert. Elle ressemblait, à très-peu près, à la figure de la page 121, et avait les dimensions suivantes :

Électro-aimant.

Diamètre du fer doux d'un des électro-aimants . .	0^m,070
Longueur	0 ,355
Diamètre de chaque électro-aimant garni de fil. . .	0 ,120
Diamètre du fil.	0 ,0038
Poids du fil enroulé sur chaque électro-aimant. . .	14^k,320

Bobine.

Diamètre extérieur de l'anneau de fer doux	0^m,168
Diamètre intérieur de l'anneau de fer doux	0 ,123
Largeur de l'anneau de fer doux.	0 ,101
Diamètre extérieur de la bobine	0 ,203
Diamètre intérieur de la bobine.	0 ,119
Diamètre du fil.	0 ,002
Poids total du fil enroulé.	4^k,650
Diamètre du faisceau de conducteurs.	0^m,089

Fil conducteur de la machine à la lampe.

Diamètre	0^m,026
Section	0 ,000055

Machine.

Longueur totale, poulie comprise	0^m,650
Hauteur totale	0 ,506
Largeur totale	0 ,410

Dans son rapport à l'Académie des sciences, M. Tresca relate les difficultés qu'il a éprouvées dans l'installation du dynamomètre à rotation et dans le mesurage des indications photométriques :

« La grande vitesse à laquelle fonctionnent les machines Gramme, dit-il, rendait assez difficile l'installation d'un dynamomètre qui, eu égard aux diamètres des poulies de trans-

mission, ne devait pas fonctionner à moins de 250 tours par minute. Cependant les tracés fournis par l'appareil ont été parfaitement satisfaisants, après quelques tâtonnements inséparables de ces sortes de déterminations.

« Le travail dépensé a ainsi été mesuré avec toute l'exactitude désirable, mais il n'en est pas de même quant à l'intensité lumineuse. Cette intensité était mesurée à l'aide d'un photomètre à éclairage direct, donnant lieu à deux zones contiguës, éclairées exclusivement, l'une par une lampe Carcel, l'autre par la lampe électrique. L'une des zones paraissait verte par rapport à l'autre, qui semblait teintée de rose, et, parmi les divers modes essayés, celui qui était incontestablement le meilleur a consisté à corriger la différence de ces nuances par l'interposition de deux verres peu colorés en sens inverse.

« Les lampes Carcel type, brûlant 42 grammes d'huile à l'heure, ont été placées à une distance suffisamment rapprochée du photomètre, le bec électrique restant placé à 40 mètres dans la première détermination et à 20 mètres dans la seconde.

« Malgré la constance du courant électrique aboutissant au régulateur, la lumière éprouve, par suite de l'irrégularité de composition des charbons, des oscillations qui, pour la plupart, ne sont perceptibles que dans les déterminations photométriques; mais il en résulte, sous ce rapport, une grande difficulté pour la détermination précise de cette intensité et sa définition par rapport à la dépense de travail qu'elle exige.

« Nous n'avons pu nous mettre à l'abri de ces inconvénients qu'en multipliant les expériences et en les limitant à un temps très-court. La lampe type ayant été placée de manière à équivaloir, dans le champ du photomètre, à l'éclairage moyen de la lampe électrique, on maintenait l'appareil en fonction pendant un certain temps, et à

l'instant précis où l'on jugeait qu'il y avait égalité de lumière, un signal prévenait l'observateur du dynamomètre qu'il eût à effectuer un tracé qui durait quelques secondes à peine. Un autre observateur relevait le nombre de tours correspondant du dynamomètre pendant une minute et l'opération du tracé dynamométrique était interrompue jusqu'au moment où un nouveau signal transmis par l'observateur du photomètre demandait un nouveau tracé. On trouvera dans le tableau ci-après toutes les données relatives aux observations, qui ont complétement réussi.

TABLEAU DES EXPÉRIENCES.

Machine grand modèle.

Rapport des distances au photomètre. . $40^{m},00 : 0^{m},93$
Rapport des intensités . . . . 1850 : 1

Numéros des tracés.	Tours du dynamomètre par minute.	Ordonnées moyennes du diagramme. Millimètres.	Travail en kilogrammètres par seconde.
1.	238	22,50	678,28
2.	251	18,89	600,56
3.	248	21,74	682,82
4.	244	16,60	513,00
5.	241	15,59	475,86
6.	244	16,65	516,23
Moyenne .	244		576,12 ou $7^{ch},68$

$$\text{Travail pour 100 becs} = \frac{7^{ch},68}{18,50} = 0^{ch},415.$$

Travail par bec et par seconde, $0^{km},31$.

Machine petit modèle.

Rapport des distances au photomètre. . 20 : 1,15
Rapport des intensités. . . . . 302,4 : 1

Numéros des tracés.	Tours du dynamomètre par minute.	Ordonnées moyennes du diagramme. Millimètres.	Travail en kilogrammètres par seconde.
1.	234	7,11	201,72
2.	238	6,66	200,79
3.	244	7,42	229,41
Moyenne.	239		210,65 ou $2^{ch},81$

Travail pour 100 becs $\frac{2^{ch},81}{3,024} = 0^{ch},92$.

Travail par seconde et par bec, $0^{km},69$.

« Pour l'estimation du nombre de tours de l'arbre de la machine magnéto-électrique, il était essentiel de s'assurer qu'il n'y avait aucun glissement de courroie. On a pu, à diverses reprises, comparer simultanément la vitesse des deux arbres au moyen de deux compteurs de tours; on a trouvé ainsi, pour la première expérience, un rapport de 5,18, tandis que le rapport calculé était de 5,26. La correction devenait donc facile à opérer.

« La grande machine était desservie par un régulateur système Gramme alimenté par des charbons de cornue ayant $0^m,012$ de côté, et l'autre par un régulateur Serrin alimenté par des charbons de $0^m,009$ de côté. »

Ainsi, par l'intermédiaire de la petite machine, 1 kilogrammètre a été transformé en 1 bec et demi, et, par l'intermédiaire de la grosse, en plus de 3 becs Carcel. Ces chiffres sont bien supérieurs à ceux que nous donnons comme base au commencement de ce chapitre; mais ils sont le résultat d'expériences faites avec le plus grand soin sur des machines soigneusement vérifiées par l'inventeur. Dans la pratique courante, on doit évidemment compter sur un moins grand rendement.

2° Expériences de M. Hagenbach.

Le rapport de M. Hagenbach sur la machine Gramme est très-intéressant; il mérite à tous égards d'être reproduit ici, sinon en entier, pour éviter de tomber dans des répétitions sur la construction de l'appareil, du moins en grande partie.

« L'institut physico-chimique, érigé dernièrement pour l'université de Bâle, possède une grande salle pour les cours populaires. Cette salle est disposée de telle sorte que les images du microscope solaire, de la lanterne magique, du spectroscope, etc., puissent être facilement projetées sur un grand écran blanchi à la magnésie, présentant 6 mètres de largeur et montrées de la sorte à quatre ou cinq cents auditeurs à la fois. On peut à volonté employer pour cela la lumière solaire, la lumière électrique ou la lumière de Drummond. Comme la production de la lumière électrique à l'aide d'une batterie de Bunsen ou de Deleuil est toujours très-désagréable et coûteuse, je dus me préoccuper d'employer une machine électro-dynamique pour la production de la lumière nécessaire. Cette solution m'était d'autant plus indiquée que, par les conduites d'eau de la ville, nous disposons dans le laboratoire de physique d'une force d'environ 1 cheval et demi.

« J'utilisai une machine Gramme non-seulement pour me convaincre qu'elle suffit à l'éclairage nécessaire, mais pour une étude détaillée des propriétés physiques de ces appareils. Comme l'on peut prévoir avec plus ou moins de certitude que, dans un avenir assez rapproché, les machines magnéto-électriques remplaceront, pour les courants forts, les piles galvaniques dont l'usage est si incommode, les résultats auxquels ont conduit les recherches

que j'ai entreprises dans un but particulier présenteront sans doute un intérêt général.

« La machine sur laquelle ont porté mes études a des électro-aimants de $0^{m},27$ de longueur. La bobine mobile intérieure avec l'anneau de fil de fer doux se compose de deux parties qui s'introduisent l'une après l'autre dans le circuit; chacune de ces moitiés possède 48 bobines partielles. Le courant entier, c'est-à-dire celui qui agit dans le circuit extérieur, circule aussi autour de l'électro-aimant[1].

« Pour la mesure de la résistance galvanique d'après la méthode du pont de Wheatstone, j'obtins :

	UNITÉS DE SIEMENS.
Pour l'électro-aimant.	1,26
Pour la bobine intérieure (les deux parties). .	0,62
En tout.	1,88

« La force électro-motrice d'une machine de Gramme est, comme on peut facilement s'en rendre compte, d'une grandeur variable. Elle dépend de la vitesse avec laquelle tourne la bobine intérieure et de l'intensité du courant qui circule autour de l'électro-aimant; ce dernier dépend à son tour de la résistance du circuit extérieur.

« Pour exécuter les mesures d'intensité du courant nécessaires au calcul de la force électro-motrice, je faisais dériver une faible portion du courant à mesurer à travers un galvanomètre à miroir d'Edelmann. L'expérience préalable m'avait montré combien de centimètres cubes de mélange détonant le courant principal fournit par minute pour une déviation d'un degré au galvanomètre. J'exprime

1. C'est ici le lieu de faire remarquer que la machine dont parle M. Hagenbach a été construite en juillet 1873, et que la mise des électro-aimants dans le circuit extérieur avait été déjà, à cette époque, appliquée à plusieurs machines magnéto-électriques par M. Gramme.

les intensités de courant au moyen du volume de gaz détonant qui est fourni à la minute, en le ramenant à 0 degré et à $0^{m},760$ de pression. Un centimètre cube de gaz correspond à 0,0009926 unité chimique de $0^{g},009$ d'eau décomposée par seconde. De la valeur de l'intensité du courant et de celle de la résistance on pouvait déduire ensuite celle de la force électro-motrice; j'exprime celle-ci en éléments zinc-charbon de Deleuil, tels que je les emploie ordinairement pour la production de la lumière électrique; j'ai évalué la force électro-motrice d'un de ces éléments de Deleuil à 0,0192 unité chimique ou à 1,6 Daniell.

« Le nombre des tours de la machine était estimé au moyen d'un compteur de Deschiens.

« Pour déterminer préalablement dans quelle mesure l'intensité du courant et la force électro-motrice dépendent de la vitesse de rotation et de la résistance extérieure, j'ai fait tout d'abord les expériences suivantes :

« Je fis marcher la machine avec différentes vitesses en intercalant des résistances extérieures différentes et je mesurai l'intensité du courant dont je déduisais la force électro-motrice. J'obtins de la sorte les résultats suivants :

« I. Le circuit de la machine fut fermé au moyen d'un fil court et épais dont la résistance pouvait être négligée; on avait donc une résistance extérieure nulle et une résistance totale égale à 1,88 unité Siemens.

Nombre de tours à la minute.	Intensité du courant en centimètres de gaz à la minute.	Force électro-motrice exprimée en éléments de Deleuil.
285	46,0	4,5
386	78,0	7,6
421	86,0	8,4
495	97,1	9,4
537	112,6	10,9
584	123,8	12,0

Nombre de tours à la minute.	Intensité du courant en centimètres de gaz à la minute.	Force électro-motrice exprimée en éléments de Deleuil.
744	150,7	14,6
817	160,3	15,6
879	166,6	16,2
930	172,5	16,8
978	177,7	17,3
1.045	183,0	17,8
1.082	186,8	18,2

« II. Le circuit de la machine fut fermé au moyen d'un fil de cuivre plus long enveloppé de gutta-percha et représentant une résistance de 0,5 unité Siemens, ce qui donnait une résistance totale de 2,38 unités Siemens.

Nombre de tours à la minute.	Intensité du courant en centimètres de gaz à la minute.	Force électro-motrice exprimée en éléments de Deleuil.
253	9,3	1,1
365	44,4	5,5
450	69,0	8,5
597	96,8	11,6
818	129,8	16,0
906	140,7	17,3
981	147,9	18,2
1.109	161,7	19,9
1.175	166,4	20,5
1.283	176,3	21,7

« III. On introduisit dans le circuit un fil encore plus long représentant deux unités Siemens, ce qui donnait une résistance totale de 3,88 unités.

Nombre de tours à la minute.	Intensité du courant en centimètres de gaz à la minute.	Force électro-motrice exprimée en éléments de Deleuil.
539	41,0	8,2
707	70,0	14,0
905	91,2	18,3
1.178	110,5	22,2
1.416	129,8	26,0
1.584	142,1	28,5

« Si l'on représente ces résultats graphiquement en prenant les nombres de tours comme abscisses et les intensités de courant comme ordonnées, on obtient des courbes qui ne s'écartent que peu de la ligne droite et qui présentent une faible concavité vers le bas. L'intensité du courant croît donc à peu près proportionnellement à la vitesse de rotation. En augmentant encore la vitesse au moyen d'un moteur plus fort, on aurait bien pu porter plus loin l'intensité du courant, n'eût été que, au-delà de 2 000 tours par minute, la machine s'échauffe trop fortement.

« Si l'on déduit des tableaux ci-dessus, par interpolation, les forces électro-motrices pour le même nombre de tours, mais pour des intensités différentes, ou les forces électro-motrices pour une même intensité de courant, mais pour des nombres de tours différents, on reconnaît facilement que, pour de faibles intensités de courant, la force électro-motrice croît avec l'intensité du courant. Mais, lorsque cette dernière arrive à être assez grande pour développer 80 centimètres cubes à la minute, la force électro-motrice n'augmente plus sensiblement avec l'intensité du courant, sans doute parce que le courant faible suffit à produire l'aimantation complète. On reconnaît en outre que, pour une intensité de courant constante, la force électro-motrice est sensiblement proportionnelle au nombre de tours, ce qui devait être d'après la loi de l'induction.

« Pour la production de la lumière électrique, j'employais un régulateur de Serrin. Je mesurais l'intensité de la lumière à l'aide d'un photomètre de Bunsen, en prenant comme unité de lumière la bougie normale de paraffine de $0^m,0214$ de diamètre, donnant une flamme de $0^m,0413$ de hauteur. Pour mesurer la distance obtenue lors de l'introduction de la lampe électrique, je mesurais le nombre de tours et l'intensité du courant, puis j'enlevais le régulateur électrique et j'introduisais des

résistances de plus en plus grandes jusqu'à ce que je fusse revenu au nombre de tours et à l'intensité du courant que j'avais d'abord. J'obtins de la sorte, pour la résistance opposée par la lampe électrique, 4,75 unités Siemens; ce qui donnait pour la résistance totale, lors de la production de la lumière électrique, 6,63 unités Siemens.

« Les mesures exécutées sur l'intensité lumineuse et l'intensité de courant correspondante m'ont conduit par le calcul et l'interpolation aux résultats suivants :

NOMBRE de tours à la minute.	INTENSITÉ lumineuse en bougies normales.	INTENSITÉ du courant en centimètres cubes de gaz à la minute.	FORCE électro-motrice en éléments de Deleuil.
1.700	506	119	40,8
1.800	567	126	43,2
1.900	628	133	45,6
2.000	689	140	48,0

« Des expériences faites avec le dynamomètre de Prony m'ont démontré que, pour la production de la lumière à 1 800 tours par minute, on dépense environ 90 kilogrammètres, c'est-à-dire plus d'un cheval de force.

« Or, 567 bougies normales équivalent à peu près à 80 becs Carcel; il faut donc, pour la production d'un bec Carcel avec notre machine, 1,1 kilogrammètre.

« La résistance galvanique d'un de mes éléments Deleuil équivaut à 0,083 unité de Siemens; il faut donc 72 éléments à la suite les uns des autres pour produire la même lumière qu'avec la machine de Gramme à 1 700 tours par minute, et 86 éléments pour produire la même lumière qu'avec la machine à 2 000 tours; de là il ressort clairement que l'emploi de la machine de Gramme pour la production de la lumière électrique a, sur celui de la pile, l'avantage non-seulement d'une plus grande commodité, mais aussi d'une grande économie.

« La machine de Gramme que j'ai employée suffit amplement pour projeter à une plus grande échelle des photographies, des préparations microscopiques et des spectres. »

3° Expériences de MM. Schneider et Heilmann.

Les expériences de MM. Schneider et Heilmann ont cela de remarquable qu'elles ont été faites sur des machines ayant déjà fonctionné pendant un an et dans le local même où elles sont installées. C'est dans la séance solennelle tenue en 1876 par la *Société industrielle de Mulhouse*, à l'occasion de son cinquantenaire, que le rapport a été lu et que les expérimentateurs ont rendu un éclatant hommage à la merveilleuse invention de M. Gramme.

Bien que cela s'écarte un peu du sujet de ce chapitre, nous ne pouvons résister à l'envie de reproduire les premières lignes de l'introduction du rapport ; elles expriment bien la pensée qu'ont tous les savants et les industriels qui connaissent la nouvelle machine magnéto-électrique dont nous nous occupons.

« MESSIEURS,

« Vous vous êtes sans doute demandé quels ont été les motifs qui nous ont guidés dans le choix du sujet que nous désirons traiter aujourd'hui devant vous.

« Votre comité de mécanique, Messieurs, veut, dans ce grand et solennel jour de fête, rendre hommage à l'une des plus grandes et des plus belles découvertes de notre époque : *la production mécanique, facile et pratique de l'électricité*.

« Vous connaissez tous les effets multiples de ce curieux élément de la nature.

« Qui dit électricité, dit : « Chaleur, lumière, actions

« chimiques, déplacement de molécules, effets magné-
« tiques, transmission de force à de grandes distances,
« et bien d'autres secrets encore à arracher à la création. »

« S'ils sont grandioses, ces effets, vous savez aussi combien ils ont été, jusqu'à présent, difficiles à obtenir, lorsqu'on les demandait à des courants électriques d'une grande intensité.

« Aujourd'hui la difficulté est levée; grâce à l'invention de Gramme, l'horizon s'ouvre largement devant nous et met à notre disposition l'emploi facile et pratique de courants électriques.

« Honneur à celui qui, le premier, a trouvé une solution pratique de ce problème si longtemps recherché!

« Messieurs, reportons-nous à cinquante ans en arrière, et représentons-nous les créateurs de cette Société à la mémoire desquels nous venons aujourd'hui rendre hommage.

« Qu'auraient dit nos pères, qu'auraient dit ces premiers champions de l'industrie alsacienne, s'ils avaient vu s'ouvrir pour eux cette ère industrielle nouvelle, qui met à notre disposition l'électricité?

« Nos prédécesseurs nous ont légué : la lampe à l'huile, la lumière du gaz. Dans ce cinquantième anniversaire de la création de notre Société, nous léguerons à nos successeurs l'une des nombreuses applications de notre nouvelle puissance industrielle : *l'éclairage au moyen de la lumière électrique.* »

La partie du rapport spéciale à la détermination de la puissance lumineuse a été faite par M. Schneider. En voici les points les plus saillants :

« Toutes les personnes familiarisées avec les mesures photométriques savent qu'il est impossible de comparer avec exactitude les intensités de deux sources lumineuses différant par leur coloration. L'œil n'est pas à même de

discerner, dans la comparaison de deux surfaces éclairées, la différence qui tient à l'inégalité d'intensité de la différence de couleur.

« Tel était néanmoins le problème que nous avions à résoudre. Il n'est point nécessaire, en effet, de recourir à l'examen des spectres fournis par une lampe Carcel d'une part et un régulateur électrique d'autre part, pour constater la grande diversité de constitution de ces deux sources lumineuses. Un simple coup d'œil jeté dans le champ d'un photomètre de Foucault exposé au rayonnement de ces deux luminaires, montre que le premier émet une lumière jaune rosée, à côté de laquelle la coloration du second présente une teinte d'un vert violacé.

« M. Tresca, qui s'est récemment occupé de la détermination du travail dépensé par deux machines de Gramme de grande puissance lumineuse, est parvenu à surmonter la difficulté en question en corrigeant la différence de nuances par l'interposition de deux verres peu colorés en sens inverse. Mais outre qu'une gamme chromatique de verres faiblement colorés nous faisait défaut, nous hésitions à admettre qu'on pût considérer les quantités de lumière absorbées par les milieux colorés interposés comme entièrement négligeables, ou comme proportionnelles aux intensités des sources qui éprouvent ces pertes de lumière.

« Nous nous sommes donc borné à comparer directement les intensités des deux sources lumineuses en question. Les résultats que nous avons obtenus ne sauraient être considérés que comme des approximations, assez grossières au point de vue de la méthode scientifique, mais suffisantes néanmoins pour les besoins de la pratique.

« Nos déterminations présentent d'autant moins le caractère d'expériences de précision, qu'il nous a fallu opérer dans le local même de la fonderie, dont le plafond et les murs pouvaient renvoyer sur le photomètre une certaine

quantité de lumière diffuse, malgré la précaution que nous avions prise de préserver le plus possible cet instrument de toute influence perturbatrice au moyen d'un capuchon en calicot noir mat.

« Nous avons employé pour nos expériences l'excellent appareil photométrique de MM. Dumas et Regnault, dont il nous paraît inutile de donner une description détaillée. Cet appareil est muni d'un photomètre de Foucault, dont nous avons prolongé suffisamment la cloison médiane pour que chaque moitié de la plaque de verre se trouvât exclusivement éclairée par l'une des deux sources lumineuses à comparer.

« A l'exemple de M. Tresca, nous avons pris comme *unité* la lumière émise par une lampe Carcel brûlant 40 grammes d'huile de colza épurée à l'heure. La lampe, réglée approximativement pour cette consommation, fut installée sur la balance qui fait partie de l'appareil photométrique, à une distance invariable de 1 mètre de la plaque de verre. Quant au régulateur électrique, il se trouvait établi sur un chariot mobile, de hauteur convenable, pouvant se déplacer facilement le long d'une règle divisée d'environ 12 mètres de longueur.

« Pour connaître la consommation de la lampe Carcel pendant les diverses phases des expériences, nous avons commencé par équilibrer la lampe préalablement allumée ; puis, surchargeant un peu la tare placée dans le bassin opposé, nous avons noté l'instant précis où la chute du marteau sur le timbre indiquait le commencement des expériences. Relevant ensuite le marteau avertisseur, nous avons chargé la lampe d'un poids additionnel, variable avec la durée présumée de l'essai, et inscrit avec soin l'heure exacte correspondant à chaque nouvelle chute du marteau sur le timbre.

« Le photomètre de Bunsen étant moins sensible que les

autres à l'influence perturbatrice résultant d'une différence de coloration des sources lumineuses, nous avons jugé utile de comparer les indications de cet appareil avec celles du photomètre de Foucault. Pour pouvoir effectuer les déterminations avec beaucoup de rapidité, nous avons adopté une disposition analogue à celle qui a été proposée par M. Burel, de Rouen. Notre photomètre se composait d'une règle divisée en centimètres, interposée entre la lampe Carcel et le régulateur électrique, et sur laquelle pouvait glisser un petit écran vertical en papier portant au centre une empreinte analogue à celle du papier timbré. De cette manière chacune des faces de l'écran se trouvait éclairée exclusivement par celle des sources qui était placée en regard de la face considérée. Pour exécuter une mesure, l'opérateur, observant dans toutes les expériences une même face de l'écran, déplaçait lentement ce dernier jusqu'à la disparition complète de la tache centrale, et relevait ensuite sur l'échelle divisée les distances de l'écran à chaque source lumineuse.

« Quoiqu'il soit facile de démontrer qu'un pareil mode opératoire ne saurait fournir, avec une rigueur absolue[1],

1. En effet, la lumière qui vient frapper chaque face de l'écran, se décompose en trois parties, dont l'une est *réfléchie*, l'autre *transmise* et la troisième *absorbée*.

Désignons, pour la *partie non translucide* de l'écran :

par a la quantité de lumière réfléchie,
par b la quantité de lumière transmise,
par c la quantité de lumière absorbée,

et soient α, β, γ les quantités de lumière réfléchie, transmise et absorbée par la *partie translucide* de l'écran.

En représentant par 1 l'intensité de la lumière incidente, nous aurons les relations :

$$a + b + c = 1$$
$$\alpha + \beta + \gamma = 1.$$

Si la face de gauche de l'écran est éclairée par une source d'intensité i, et la face de droite par une source d'intensité i', la quantité de lumière J

le rapport des intensités lumineuses à comparer, nous n'avons pas hésité à inscrire les mesures obtenues en regard des nombres fournis par le photomètre de Foucault.

que la partie non translucide de l'écran enverra à l'œil de l'observateur, invariablement placé du même côté de l'écran (à gauche, par exemple), sera représentée par :

$$J = ia + i'b.$$

De même la partie translucide de l'écran enverra au même observateur une quantité de lumière J' donnée par la relation :

$$J' = i\alpha + i\beta.$$

Cela posé, *si aucune partie de l'écran n'absorbait la moindre portion de la lumière incidente* (c'est-à-dire si l'on avait $c = o$ et $\gamma = o$), ou bien *si la partie translucide en absorbait autant que la partie non-translucide* (c'est-à-dire si l'on avait $c = \gamma$), on aurait :

$$a + b = \alpha + \beta;$$

et par conséquent, en supposant $i = i'$, on aurait $J = J'$, c'est-à-dire la tache translucide et le fond paraîtraient également éclairés, et *la tache disparaîtrait forcément.*

Mais ce cas ne se présente jamais dans la réalité. En effet, comme la partie translucide absorbe moins de lumière que la partie non translucide, $\gamma < c$ et par conséquent :

$$\alpha + \beta > a + b.$$

Or, quand l'écran est placé à égale distance de deux sources d'égale intensité, $i = i'$ et

$$J = i\,(a + b)$$
$$J' = i\,(\alpha + \beta);$$

d'où il résulte que

$$J < J'$$

c'est-à-dire *la tache ne saurait disparaître au moment précis où l'écran est également éclairé des deux côtés.* Elle apparaîtra brillante sur un fond relativement sombre, et pour la faire disparaître il faudra rapprocher un peu l'écran de l'œil de l'observateur.

Il résulte aussi de ce qui précède, *que la tache ne peut jamais disparaître simultanément sur les deux faces de l'écran.*

Pour obtenir, avec ce photomètre, le rapport exact des intensités des deux sources lumineuses, il est donc absolument indispensable d'avoir recours à l'ingénieuse disposition imaginée par M. Bunsen ; mais ce n'est point ici le lieu d'en donner la description.



« Les résultats de toutes les expériences photométriques sont consignés dans la quatrième colonne du tableau ci-après. Ils présentent souvent une remarquable concordance, mais parfois aussi des divergences notables. Ces différences doivent être attribuées non-seulement aux défauts inhérents à toutes les méthodes photométriques usuelles, mais encore aux oscillations éprouvées par la lumière électrique par suite de l'irrégularité de composition des charbons. Ces fluctuations d'intensité qui, d'après une seconde série de déterminations photométriques, effectuées le 25 mars dernier, peuvent dépasser 10 pour 100, n'échappent point à l'œil regardant dans le champ du photomètre de Foucault. Elles sont parfois perceptibles à la simple vue pour un observateur prévenu.

« La grande discordance que présentent les indications des deux photomètres dans plusieurs expériences, tient incontestablement à la lumière diffuse que le plafond et le mur le plus rapproché pouvaient envoyer sur la plaque du photomètre exposée au rayonnement de la lampe Carcel. Dans la première de ces expériences, l'arc voltaïque était à nu, et dans la seconde, il ne se trouvait enveloppé que d'un globe dépoli, largement ouvert aux extrémités supérieure et inférieure. L'éclairage de la lampe Carcel se trouvant ainsi renforcé par une certaine quantité de lumière diffuse, l'intensité lumineuse du régulateur qu'elle servait à mesurer se trouvait forcément amoindrie dans la même proportion.

« Il résulte enfin de ces expériences que l'intensité de la lumière électrique, non affaiblie par un globe de verre dépoli, dépasse sensiblement 100 becs Carcel pour les machines Gramme fonctionnant dans les conditions indiquées.

« Comme d'ailleurs la moyenne des intensités observées avec l'emploi d'un globe diffusant équivaut à 80 becs Car-

cel, on peut conclure que les globes de verre absorbent environ 25 pour 100 de la lumière émise par l'arc voltaïque dans une direction déterminée. »

En même temps que M. Schneider faisait les expériences photométriques dans la nouvelle fonderie de l'usine Ducommun, M. Heilmann étudiait par des expériences dynamométriques la puissance motrice absorbée par les machines Gramme. A cet effet, il relevait une série de courbes, à l'aide de l'indicateur de Watt, sur une machine Sulzer actionnant les quatre appareils.

Cette méthode, essentiellement différente de celles employées par MM. Tresca et Hagenbach, est certainement la plus pratique lorsqu'on n'a à sa disposition aucun dynamomètre enregistreur. Les résultats qu'elle donne sont suffisamment exacts, surtout si l'on a soin, comme l'a fait M. Heilmann, de relever un grand nombre de courbes.

Mais laissons parler le rapporteur :

« Nous avons, en premier lieu, cherché à faire dépenser au moteur à vapeur une puissance motrice constante, dont nous avons déterminé la valeur par des courbes. Cette constante établie, nous faisions commander par le moteur, en sus de la dépense constante, une ou plusieurs machines Gramme, suivant le programme des expériences photométriques, et il nous était alors facile par différence d'estimer la puissance motrice absorbée en plus pour chacune des expériences.

« Les expériences photométriques et dynamométriques ne se faisaient pas dans le même local; nous nous mettions donc par un signal en rapport les uns avec les autres, de telle façon que les expériences fussent faites dans chaque cas simultanément.

« Dans le petit tableau qui termine ce travail, nous avons résumé le résultat de nos expériences et nous avons placé chaque chiffre indiquant les expériences dynamo-

métriques en regard du chiffre correspondant des expériences photométriques.

« Nos expériences durèrent 2 heures 48 minutes, et, pendant ce temps, il fut pris 94 courbes sur le cylindre du moteur à vapeur.

« Les régulateurs Serrin étaient alimentés de charbons à grains durs, compactes et serrés.

« Ces charbons résistent mieux à l'action des courants électriques que les charbons mous ; mais, par contre, ils donnent une lumière moins vive, présentent plus de résistance aux courants électriques, et, par conséquent, dépensent plus de puissance motrice ; les charbons mous donnent une lumière vive, dépensent moins de puissance motrice, mais aussi ils sont exposés à se fendiller et à projeter des éclats de charbon.

« Nos études se sont donc portées sur l'emploi des charbons durs, qui présentent plus de garantie d'une marche régulière.

« Ces expériences nous ont amenés aux résultats suivants :

« Abstraction faite de la mise en marche, dont il sera question tout à l'heure, et en ne considérant que la dépense motrice absorbée en moyenne et en marche courante, nous avons constaté que :

« Les quatre machines Gramme à lumière, de la puissance émissive de lumière d'environ 400 becs Carcel bruts qui fonctionnent dans les ateliers Ducommun, dépensent environ, en marche courante :

	KILOGRAMMÈTRES.	CHEVAUX-VAPEUR.
Les quatre machines ensemble, renvoi de vitesse non compris.	539,5	7,194
Le renvoi de vitesse.	62,2	0,829
Soit en tout, les quatre machines ensemble avec leur renvoi de vitesse. .	601,7	8,023

« Pour chaque machine Gramme, prise individuellement, à intervalles échelonnés, dans une durée de deux heures de temps, nous avons trouvé les moyennes suivantes, renvoi de vitesse non compris :

Régulateur	2,	machine	Gramme	B.	1,921	chevaux-vapeur.
—	2,	—	—	A.	1,849	—
—	2,	—	—	C.	1,833	—
—	2,	—	—	D.	1,360	—
			Ensemble.		6,963	chevaux-vapeur.

« Ce résultat pour les quatre machines a été obtenu avec renvoi non compris, c'est-à-dire à peu près ce qui est indiqué plus haut.

Régulateur	1,	machine	Gramme	B,	1,980	chevaux-vapeur.
—	2,	—	—	B,	1,921	—
—	3,	—	—	B,	1,710	—
—	4,	—	—	B,	2,001	—
Total pour quatre expériences.					7,612	chevaux-vapeur.

« Ce résultat donne une moyenne de 1,903 chevaux-vapeur, renvoi non compris; c'est ce que nous avions trouvé plus haut pour la machine B.

« Il faut distinguer la puissance motrice absorbée par la machine Gramme, à sa mise en train, de la puissance motrice absorbée en marche courante.

« Pendant les vingt-cinq ou trente premières secondes, en effet, qui suivent la mise en marche, la machine Gramme absorbe jusqu'à 67 pour 100 en plus de sa dépense normale. Ce fait, déjà reconnu par M. Tresca, provient non-seulement de la résistance qu'oppose l'inertie de la matière d'un corps, qui est subitement mis en mouvement; mais il provient en outre de la force nécessaire pour établir le régime des courants électriques.

« Si les charbons n'ont pas été préalablement taillés, le temps pendant lequel se produira, à la mise en marche, l'augmentation de dépense motrice, sera un peu plus long.

« Il résulte des considérations qui précèdent que, dans le cas d'une installation à faire de machines Gramme à lumière, pour calculer l'emploi de puissance motrice, il faudra admettre que, pendant quelques instants, le moteur à vapeur pourra donner un coup de collier, augmentant de près de 75 pour 100 la puissance motrice absorbée en moyenne en marche courante, ou bien il faudra se résigner à voir, pendant ces quelques instants, la transmission de mouvement diminuer légèrement sa vitesse normale, jusqu'à ce qu'elle la reprenne, le régime une fois établi.

« Les résultats que nous venons d'indiquer se rapportent à l'emploi de charbons durs à section carrée de $0^m,007$ de côté, se brûlant à raison de $0^m,120$ à $0^m,125$ par régulateur et par heure.

« Ainsi que nous l'avons déjà dit, dans le cas d'emploi de charbons mous, tels qu'ils sont obtenus actuellement, la puissance motrice absorbée serait diminuée; mais par contre l'intensité de l'éclairage serait moins régulière. »

Le tableau suivant résume les principales expériences de MM. Schneider et Heilmann :

DÉSIGNATION DES MACHINES.	NOMBRE de tours des machines.	TRAVAIL absorbé en chevaux-vapeur.	INTENSITÉ lumineuse. Photomètre Bunsen.	OBSERVATIONS SUR LES RÉGULATEURS.
		chev.	becs.	
Machine B....	816	1,921	95,6	Régulateur avec globe dépoli.
Machine B....	816	1,921	122,2	Régulateur sans globe.
Machine B....	804	1,980	86,8	Régulateur avec globe dépoli.
Machine A....	810	1,849	85,3	Régulateur avec globe dépoli.
Machine C....	763	1,833	103,2	Régulateur avec globe dépoli.
Machine D....	883	1,360	68,7	Régulateur avec globe dépoli.

La dernière expérience a donné 81 becs avec le photomètre Foucault, ce qui correspond à plus de 100 becs sans globe, et la dépense de 1^{ch},36 n'a pas varié. C'est à très-peu de chose près 1 kilogrammètre par bec Carcel.

En rapprochant cette dernière évaluation de celle que nous avons donnée page 122, on verra combien M. Gramme a amélioré ses machines depuis l'installation de Mulhouse.

CHAPITRE X.

PRIX DE L'ÉCLAIRAGE A L'ÉLECTRICITÉ.

Prix de l'éclairage au moyen de la pile Bunsen. — Evaluation de M. Becquerel. — Tableau des dépenses faites par MM. Lacassagne et Thiers. — Prix de l'éclairage au moyen de la machine de *l'Alliance*. — Prix de l'éclairage au moyen de la machine Gramme. — Tableau comparatif du prix de diverses lumières. — Calculs de M. Heilmann. — Devis comparatif d'une installation au gaz et à l'électricité.

Bien que l'emploi de la pile tende à disparaître depuis l'invention de M. Gramme, il n'est pas inutile d'examiner quelles étaient les dépenses qu'elle occasionnait pour la production de la lumière.

Nous trouvons, à ce sujet, des renseignements assez précis, dans un rapport présenté, il y a une vingtaine d'années, par M. Edmond Becquerel à la Société d'encouragement.

Le point important à déterminer, dans les recherches sur la pile, est la consommation moyenne de zinc, d'acide sulfurique et d'acide nitrique nécessaires pour l'obtention d'une lumière constante pendant plusieurs heures. Or, l'expérience prouve que l'intensité lumineuse décroît très-rapidement alors que le courant lui-même diminue beaucoup moins vite. Cette différence de décroissance entre le courant et ses effets est d'ailleurs irrégulière et rend impossible la détermination exacte de la loi suivant laquelle s'effectue la consommation des substances nécessaires à la production d'une lumière donnée. Mais, malgré cela, on peut indiquer les limites entre lesquelles se trouve comprise la dépense totale, lorsqu'on fait usage de piles dont les dimensions sont connues.

13

Ainsi, avec 60 éléments Bunsen de $0^m,20$ de hauteur, fonctionnant pendant 3 heures, on a obtenu au début 75 becs Carcel en dépensant par heure $2^f,85$ de produits et, à la fin, 30 becs Carcel en dépensant $2^f,15$ à l'heure. La dépense de zinc a été calculée d'après l'intensité du courant mesurée par une boussole des sinus introduite dans le circuit, et rapportée à l'action qui serait produite dans un voltamètre à sulfate de cuivre par un courant électrique de même intensité; celle d'acides sulfurique et nitrique a été calculée par les équivalents. Il est certain que la dépense réelle est plus forte que celle indiquée par la théorie des décompositions électro-chimiques; d'autre part, le mercure éprouve des pertes, l'acide nitrique dont le degré est abaissé ne donne plus une énergie suffisante pour une nouvelle expérience, etc., aussi M. Becquerel estime-t-il que la dépense des 60 éléments est au moins de 3 francs par heure.

Ce résultat a d'ailleurs été confirmé par des expériences directes exécutées à Lyon, en 1857, pour l'éclairage de la rue Impériale (aujourd'hui rue de Lyon). La lampe, système Lacassagne et Thiers, était alimentée par 60 éléments Bunsen. Elle a fonctionné pendant 100 heures.

DÉSIGNATION des SUBSTANCES.	CONSOMMATION en 101 HEURES.	PRIX PARTIEL.	PRIX TOTAL.	PRIX PAR HEURE.	OBSERVATIONS (PRIX ACTUEL).
Zinc.	$72^k,00$	104 fr. les 100 kil.	$74^f,95$	$0^f,75$	80 fr. les 100 kil.
Acide sulfurique. .	154 ,00	24 fr. les 100 kil.	36 ,95	0 ,37	12 fr. les 100 kil.
Acide nitrique. . . .	247 ,00	70 fr. les 100 kil.	173 ,25	1 ,73	56 fr. les 100 kil.
Mercure.	9 ,50	550 fr. les 100 kil.	49 ,75	0 ,50	650 fr. les 100 kil.
Carbone purifié. . .	$6^m,61$	3 fr. le mètre.	19 ,85	0 ,20	2 fr. 50 le mètre.
		TOTAUX.	$354^f,75$	$3^f,55$	

Le tableau précédent donne exactement les substances consommées, le prix payé par les expérimentateurs, le prix par heure d'éclairage et le prix des substances.

En appliquant les prix actuels des substances aux quantités consommées, on arrive au prix de 3 francs par heure, comme dans les expériences de M. Becquerel.

Ce prix donnerait certainement lieu à des réductions si on opérait dans une usine avec une installation permanente; on pourrait, en effet, révivifier le mercure, économiser l'acide nitrique, utiliser les sous-produits, etc. Cependant, comme, d'autre part, le prix de 3 francs ne comprend ni l'amortissement du capital de premier établissement, ni la main-d'œuvre, ni aucuns frais généraux, et qu'en résumé, une installation d'éclairage électrique, quelque grande qu'elle soit, ne donnerait jamais lieu à une consommation assez importante de produits chimiques pour qu'on ait grand profit à en retirer la quintessence, on peut admettre que le prix de 3 francs l'heure, pour une lumière moyenne de 50 becs Carcel, est un minimum dans la pratique.

Dans le même rapport, M. Becquerel donne le rapprochement suivant, qui comble une lacune du chapitre précédent et qui nous servira de transition pour passer de l'éclairage par la pile à celui obtenu par les machines magnéto-électriques :

« Il est intéressant de rapprocher les nombres indiqués de ceux que l'on obtiendrait si l'on évaluait la force à communiquer à une machine magnéto-électrique de *l'Alliance* pour fournir un courant électrique capable de maintenir constant un arc voltaïque semblable à celui qui a servi aux études sur la pile. Si l'on compare ces effets avec ceux qui ont été obtenus, en 1856, avec la machine qui a fonctionné au Conservatoire des arts et métiers, on trouve qu'il faudrait communiquer une force de 2 chevaux un quart à

cette machine pour donner un courant électrique capable de maintenir constant un arc lumineux éclairant comme 50 becs Carcel. »

M. Leroux, dans les conférences déjà citées, donne les éléments complets de la dépense qu'occasionneraient les machines de *l'Alliance* si on les utilisait à l'éclairage industriel; seulement, nous ferons remarquer qu'il suppose 360 jours de marche par an, tandis que dans la plupart des usines on ne veille que 100 jours par an, ce qui augmente beaucoup la dépense réelle par heure d'éclairage.

Voici les devis de M. Leroux pour une lumière de 125 becs Carcel :

1° Cas le plus défavorable, lorsque le moteur qui donne le mouvement aux machines magnéto-électriques n'a pas d'autre emploi et exige un chauffeur spécial;

Pour un service de 10 heures par jour :

Amortissement à 10 pour 100 des 12000 francs de premier établissement; par jour.	3f,35
Charbon, 100 kilogrammes à 40 francs la tonne.	4 ,00
Salaire d'un chauffeur.	5 ,00
Crayons de carbone.	3 ,60
Graissage, etc.	1 ,30
Dépense par jour.	17f,25

Pour un service de 5 heures par jour :

Amortissement de 10 pour 100 des 12000 francs de premier établissement.	3f,35
Charbon, 50 kilogrammes à 40 francs la tonne.	2 ,00
Chauffeur.	5 ,00
Crayons de carbone	1 ,80
Graissage, etc.	0 ,70
Dépense par jour	12f,85

2° Cas le plus favorable; la force motrice étant emprun-

tée à une machine puissante, fonctionnant pour d'autres besoins.

Pour un service de 10 heures par jour :

Amortissement à 10 pour 100 sur 9000 francs.	2f,50
Charbon, 40 kilogrammes à 40 francs la tonne.	1 ,60
Crayons de carbone.	3 ,60
Graissage, etc.	0 ,70
Dépense par jour.	8f,40

Pour un service de 5 heures par jour :

Amortissement de 9000 francs, 10 pour 100	2f,50
Charbon, 20 kilogrammes à 40 francs la tonne . . .	0 ,80
Crayons de carbone.	1 ,80
Graissage, etc.	0 ,40
Dépense par jour.	5f,50

En admettant 100 jours à 5 heures, ou 500 heures d'éclairage par an, les chiffres précédents de dépenses quotidiennes deviennent, dans le cas défavorable, 21f,50 pour 5 heures, soit 4f,30 par heure, et, dans le cas favorable, 15 francs pour 5 heures, soit 3 francs par heure. Ce qui fait 0f,034 par heure et par bec dans le premier cas, et 0f,024 dans le second. Ces dépenses correspondent à très-peu près à celles occasionnées par le gaz d'éclairage pour les abonnés, d'une part, et pour la municipalité de Paris, d'autre part.

Examinons maintenant les divers prix de revient de l'éclairage obtenu au moyen de la machine Gramme. Le grand nombre des applications industrielles faites avec cette machine nous permettra de donner sur ce sujet les renseignements les plus complets et les plus précis.

En principe, et à de très-rares exceptions près, M. Gramme ne conseille l'emploi de sa machine que là où il y a de

grands espaces à éclairer et un moteur suffisamment puissant pour que l'addition d'une ou de plusieurs machines n'entrave en rien la marche régulière de l'usine. Sur 100 installations, 90 ont été faites sur ces données. C'est donc sur ce genre d'application que nous commencerons nos calculs.

Une machine Gramme de 150 becs, montée sur socle, coûte 1600 francs ; un régulateur Serrin, 450 francs ; le prix des câbles de transmission, suivant leur longueur, varie de 1 franc à 2 francs le mètre. Avec les frais d'emballage, de transport et d'installation, un appareil complet prêt à fonctionner coûte au maximum (en France et dans les pays limitrophes) 2 500 francs, tous frais compris.

Les crayons de cornue pour régulateur coûtent 2 francs le mètre ; leur usure est de 0^{m},08 par heure, déchets compris.

Avec 500 heures de veillée par an et 4 appareils dans le même établissement, les dépenses annuelles, si l'on emploie une machine à vapeur, sont :

4000 kilogrammes de charbon à 35 francs la tonne	140	francs.
160 mètres de crayons de cornue.	320	—
Entretien des appareils, 0^{f},50 par heure	250	—
Amortissement de 10000 à 10 pour 100 par an. . .	1100	—
Total.	1810	francs.

Si l'on dispose d'une force hydraulique, ces dépenses sont réduites à 1 570 francs ; ainsi, l'éclairage produit par 4 foyers de 150 becs chacun, pendant 500 heures, coûte 1810 francs lorsque les machines Gramme sont actionnées par une machine à vapeur, et 1 570 francs lorsque les machines Gramme sont actionnées par une roue hydraulique.

Pour un foyer unique, il faut compter 0^{f},30 d'entretien par heure, ce qui augmente un peu le prix proportionnel. Pour 8 foyers, par contre, l'entretien ne dépasse pas 0^{f},75,

et le prix proportionnel est réduit. En prenant pour base 525 francs par appareil et par an, pour 500 heures de veillée, on pourra être certain de ne pas éprouver de mécompte.

Lorsqu'on travaille toute la nuit et toute l'année, comme chez M. Ménier, à Noisiel, le prix, pour 4000 heures de veillée et par foyer, avec un moteur hydraulique, se trouve ainsi composé :

320 mètres de crayons de cornue	640 francs.
Entretien annuel d'un appareil au maximum.	200 —
Amortissement annuel.	250 —
Total.	1090 francs.

Avec l'emploi d'une machine à vapeur, ce dernier chiffre serait augmenté de 280 francs, prix de 8 tonnes de charbon à 35 francs la tonne ; il deviendrait donc de 1 370 francs.

Le prix de l'unité de lumière par heure produite par les machines Gramme (type de 150 becs), calculé d'après ce qui précède, est le suivant :

Pour 500 heures par an avec une machine à vapeur..	0f,0070
Pour 500 heures par an avec une force hydraulique . .	0 ,0066
Pour 4000 heures par an avec une machine à vapeur..	0 ,0023
Pour 4000 heures par an avec une force hydraulique..	0 ,0018

Avec les nouvelles machines Gramme (type 1877) et les charbons Gaudoin, le prix de l'unité de lumière par heure est réduit de 40 pour 100 ; il revient donc au prix suivant :

Pour 500 heures par an avec une machine à vapeur . .	0f,0042
Pour 500 heures avec une force hydraulique	0 ,0040
Pour 4000 heures par an avec une machine à vapeur..	0 ,0016
Pour 4000 heures par an avec une force hydraulique. .	0 ,0011

Ces chiffres sont le résultat de la pratique ; jamais nous n'avons constaté qu'ils étaient trop forts ; au contraire,

dans beaucoup d'applications, il a été reconnu que la dépense par becs Carcel était plus faible que celle que nous indiquons.

Dans tout ce qui précède, il n'est question, bien entendu, que des installations faites là où il existait un moteur, nous verrons plus loin quels sont les prix de revient lorsque le matériel d'éclairage comprend, en outre des appareils électriques, un moteur spécial.

Le tableau ci-contre donne le prix de l'unité de lumière produite avec diverses substances et les machines magnéto-électriques. Comme c'est le gaz qu'on prend le plus souvent pour terme de comparaison, nous avons fait varier son prix d'achat de 0f,15 à 0f,30 le mètre cube.

Pour calculer le prix de l'éclairage au gaz, nous avons ajouté à la dépense courante une plus-value de 4 francs par an et par bec pour l'amortissement et l'entretien des appareils.

Le tableau montre que, pour une même intensité, la machine Gramme, dans le cas le plus défavorable, procure une lumière :

75	fois moins chère	qu'avec	la bougie de cire.
55	—	—	la bougie stéarique.
16	—	—	l'huile de colza.
11	—	—	du gaz à 0f,30 le mètre cube.
6 1/2	—	—	du gaz à 0f,15 le mètre cube.

Dans les conditions les plus favorables, cette lumière est :

300	fois moins chère	que celle de	la bougie de cire.
220	—	—	la bougie stéarique.
63	—	—	l'huile de colza.
40	—	—	du gaz à 0f,30 le mètre cube.
22	—	—	du gaz à 0f,15 le mètre cube.

TABLEAU COMPARATIF DU PRIX DE DIVERSES LUMIÈRES.

DÉSIGNATION.	QUANTITÉ BRULÉE A L'HEURE.	DÉPENSE PAR BECS et par heure.	DÉPENSE POUR 400 BECS et par heure.	OBSERVATIONS.
Huile de colza épurée...........	42g	0f,07	28f,00	Prix du kilog. : 1f,70.
Huile neutre Allaire..........	39	0 ,06	24 ,00	— 1f,55.
Huile de schiste. .	36	0 ,0468	18 ,72	— 1f,30.
Huile de pétrole. .	30	0 ,054	21 ,60	— 1f,80.
Chandelle de suif.	83	0 ,141	56 ,40	— 1f,70.
Bougie de cire....	66	0 ,33	132 ,00	— 5 francs.
Bougie stéarique . .	82	0 ,246	98 ,40	— 3 francs.
Pile voltaïque. ...	»	0 ,06	24 ,00	
Machine *l'Alliance.*	»	0 ,024	9 ,00	Pour 500 heures par an.
Machine *l'Alliance.*	»	0 ,007	2 ,80	Pour 4000 heures par an.
Gaz de houille....	140l	0 ,029	11 ,60	A 0f,15 le mètre cube : 500 heures par an.
Gaz de houille....	»	0 ,025	10 ,00	A 0f,15 le mètre cube : 4000 heures par an.
Gaz de houille....	»	0 ,050	20 ,00	A 0f,30 le mètre cube : 500 heures par an.
Gaz de houille....	»	0 ,046	17 ,80	A 0f,30 le mètre cube : 4000 heures par an.
Machine Gramme, nouveau modèle.	»	0 ,0042	1 ,78	Emploi d'une machine à vapeur : 500 heures par an.
Machine Gramme, nouveau modèle.	»	0 ,0016	0 ,56	Emploi d'une machine à vapeur : 4000 heures par an.
Machine Gramme, nouveau modèle.	»	0 ,004	1 ,60	Emploi d'une force hydraulique : 500 heures par an.
Machine Gramme, nouveau modèle.	»	0 ,0011	0 ,44	Emploi d'une force hydraulique : 4000 heures par an.

Avec les anciennes machines, le bénéfice était beaucoup moindre; cependant il y avait toujours une notable différence en faveur de la lumière électrique.

Prenons par exemple le cas où l'on emploie une machine de 100 becs, où l'on tient compte des frais du moteur et où

le taux de l'intérêt de dégrèvement est porté à 15 pour 100 au lieu de 10 pour 100, comme nous l'avons compté précédemment.

Nous ne pouvons mieux faire que de reproduire les chiffres mêmes donnés par M. Heilmann sur la dépense des machines qui fonctionnent depuis trois années dans les ateliers de Ducommun, de Mulhouse, en faisant toutefois observer que le taux de l'amortissement est très-exagéré, puisque les machines Gramme ne sont pas susceptibles de détérioration, et qu'il s'agit de la première installation complète exécutée. Ce renseignement est donc aussi défavorable que possible, au point de vue de l'électricité.

Quatre machines Gramme avec 4 régulateurs coûtent par heure :

FRAIS D'ÉCLAIRAGE PROPREMENT DITS.	Charbon au régulateur : pour 4 régulateurs		0^{f},88
	Consommation de vapeur pour 4 machines Gramme		0 ,36
	Surveillance		0 ,30
	Pour 4 foyers de lumière		1^{f},54
INTÉRÊTS ET DÉGRÈVEMENT.	L'installation est estimée :		
	Pour les machines Gramme et les régulateurs	9000 fr.	
	Pour la part incombant comme puissance motrice	8000	
	Total	17000 fr.	
	15 pour 100 intérêts, dégrèvement et entretien, 2550 francs à répartir sur 500 heures annuelles d'éclairage		5 ,10
	Total de la dépense par heure pour 4 foyers de lumière		6 ,64

Si, dans le cas spécial qui nous occupe, on voulait faire la comparaison entre le coût de l'éclairage de la fonderie des ateliers Ducommun, soit au moyen de la lumière électrique,

soit au moyen du gaz, voici comment pourrait s'établir cette comparaison :

ÉCLAIRAGE AU MOYEN DU GAZ EXTRAIT DE LA HOUILLE.			ÉCLAIRAGE AU MOYEN DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.		
Puissance de lumière exprimée en becs de gaz.	DÉPENSE PAR HEURE.		Équivalent de la puissance de lumière électrique de 4 régulateurs, exprimé en nombre de becs de gaz.	DÉPENSE PAR HEURE.	
	sans intérêts ni dégrèvement.	avec intérêts et dégrèvement.		sans intérêts ni dégrèvement.	avec intérêts et dégrèvement.
442 becs.	$11^{f},05$.	$15^{f},03$.	442 becs.	$1^{f},54$.	$6^{f},64$.

Du tableau ci-dessus on peut tirer la conclusion suivante :

A émission de lumière égale, la lumière électrique coûte moins que le gaz, et ceci dans le rapport environ de 1 à 2,26 avec intérêts et dégrèvement, et de 1 à 7,17 sans intérêts ni dégrèvement.

Voici les chiffres qui ont servi de base aux calculs qui précèdent :

Nombre d'heures annuelles d'éclairage : 500 ;

Puissance de lumière de 4 régulateurs : 320 becs Carcel (de $0^{m},0235$ de diamètre extérieur, consommant 40 grammes d'huile à l'heure chacun) ;

Puissance de lumière d'un bec Carcel : 8,69, bougies stéariques de dix au kilogramme ;

Titre de l'éclairage d'un bec de gaz brûlant en une heure 100 litres de gaz : 6,280 bougies ;

Coût de 1 mètre cube de gaz : $0^{f},25$;

Coût de l'installation de gaz par bec : 30 francs.

Pour compléter les renseignements relatifs à la dépense comparative du gaz et de la lumière électrique dans les

manufactures, nous donnerons un devis qui vient d'être fait pour une filature de 800 métiers.

L'installation du gaz était projetée sur les bases suivantes :

Nombre de becs	415
Nombre d'heures de veillées par an	500
Prix de l'installation du gaz	12000f,00
Prix du mètre cube de gaz	0,25
Prix du gaz par an	5486,85
Amortissement, 12000 francs à 10 pour 100 . . .	1200,00
Entretien des appareils et imprévu	263,00
Prix total de l'éclairage au gaz par an	6950f,10

L'éclairage électrique mis en concurrence comprend :

6 machines nouveau modèle à 1500 francs. .	9000	francs.
6 régulateurs de 300 becs à 450 francs.. . .	2700	—
Fourniture de fils et installation.	1300	—
Moteur à vapeur de 12 chevaux.	8000	—
Prix total des appareils électriques. . .	21000	francs.
Force nécessaire pour actionner les machines.	12	chevaux.
Consommation de crayons électriques, 240 mètres à 2f,50.	600	francs.
Consommation de charbon, 10 tonnes à 30 fr.	300	—
Amortissement de 21000 francs à 10 pour 100.	2100	—
Entretien annuel et imprévu.	1600	—
Prix total de l'éclairage électrique par an.	4600	francs.

L'éclairage électrique, dans ce cas, coûte annuellement 33 pour 100 moins cher que celui du gaz, donne six fois plus de lumière et supprime tout danger d'incendie.

CHAPITRE XI.

ÉCLAIRAGE PAR INCANDESCENCE.

Emploi des tubes de Geissler. — Rapport présenté à l'Académie des sciences par M. Coste, au nom de M. Gervais. — Invention de M. King. — Lampe Lodyguine. Rapport de M. Wild à l'Académie de Saint-Pétersbourg. — Lampe Konn. — Lampe Bouliguine. — Expériences faites par l'auteur sur l'éclairage par incandescence. — Lampe Chérémeteff et Fontaine.

Ainsi que nous l'avons dit, l'arc voltaïque convient éminemment pour l'éclairage des grands espaces à découvert ou des vastes salles sans cloisonnements intérieurs, mais lorsqu'il s'agit d'éclairer de petits emplacements ou de grands locaux très-subdivisés, il est beaucoup plus avantageux d'employer le gaz, le pétrole et même l'huile ordinaire.

Il a été fait de nombreux travaux sur la création de petits foyers électriques, mais jusqu'à ce jour aucun des moyens préconisés n'a donné des résultats pratiques. On a notamment cherché à éclairer avec des tubes Geissler et avec des petits charbons incandescents, et, si ces deux moyens n'ont pas réussi, ils offrent néanmoins assez d'intérêt pour que nous leur consacrions quelques pages.

Chacun sait que Geissler, artiste à Bonn, a construit le premier des tubes à ampoules de formes variées, fermés hermétiquement et ne contenant que des traces de vapeurs diverses. Ces tubes, mis en communication avec un courant au moyen de fils de platine scellés dans le verre et d'une bobine Ruhmkorff, produisent une lumière stratifiée, c'est-à-dire composée de couches minces transversales séparées par des couches sombres continuellement agitées. En

même temps les parois des tubes présentent un éclat particulier qu'on désigne sous le nom de *fluorescence*.

Le 27 mars 1865, M. Coste a présenté à l'Académie des sciences, au nom de M. Gervais, le rapport suivant :

« L'appareil a été construit par M. Ruhmkorff, qui s'est acquitté de ce soin avec son habileté et sa complaisance habituelles. C'est une caisse ou marmite en bronze, montée sur quatre pieds, et son couvercle est hermétiquement appliqué au moyen de vis de pression serrant, entre les deux surfaces ainsi mises au contact, une rondelle annulaire en caoutchouc. Au couvercle est attaché un anneau servant à la suspension de l'appareil optique. La caisse étanche renferme 2 éléments au bichromate de potasse, fermés à leur tour par des plaques que maintiennent des lames de cuivre solidement vissées. Les pôles du courant fourni par les 2 éléments peuvent être, à volonté, mis en communication avec la bobine, et le courant induit, fourni par celle-ci, est porté au dehors à travers la paroi inférieure du récipient, et transmis au tube de Geissler par des fils enveloppés de caoutchouc. Ce tube, d'une forme appropriée et rempli d'acide carbonique, est enfermé dans un cylindre en verre, à parois épaisses, muni d'armatures en cuivre et dans lequel l'eau ne peut pénétrer. C'est la partie éclairante de l'appareil. On obtient avec cet instrument une lumière douce, mais très-sensible et en tout semblable à celle que le génie militaire et les mineurs emploient maintenant. Elle ressemble sous certains rapports à celle que donnent les animaux phosphorescents, quoique plus intense. Elle peut être aperçue d'assez loin, même lorsque l'appareil fonctionne à plusieurs mètres sous l'eau. Il n'est pas douteux qu'elle ne doive attirer le poisson, comme le fait aussi la phosphorescence de certaines espèces, et l'on pourrait également s'en servir pour éclairer des espaces restreints, situés au-dessous de la surface de l'eau,

ou pour instituer des signaux flottants. M. le capitaine de vaisseau Devoulx, commandant les côtes sud de la France, a vu fonctionner cet appareil dans le port de Cette, au mois de septembre dernier. Il est resté pendant neuf heures immergé, et il a éclairé pendant six heures dans ces conditions, bien que je l'eusse apporté tout chargé de Montpellier. La phosphorescence peut être de plus longue durée. Un second essai, fait à Port-Vendres, à bord du *Favori* (capitaine Trotabas), m'a également réussi. »

La lumière obtenue par les tubes Geissler est tellement faible, qu'on n'a jamais pu l'utiliser pratiquement et que de nombreux essais faits dans les mines et les poudreries sont restés infructueux.

L'éclairage par incandescence a été étudié depuis fort longtemps; mais son application usuelle a rencontré de si grandes difficultés, qu'aujourd'hui on peut encore le considérer comme du domaine purement scientifique, bien qu'il existe déjà un certain nombre d'appareils d'un assez bon fonctionnement.

Le premier document que nous ayons trouvé sur la question est une patente anglaise délivrée le 4 novembre 1845.

M. King, l'inventeur, entre dans des détails précis sur son idée et présente des considérations qui tendraient à prouver que des machines magnéto-électriques, assez puissantes pour produire de la lumière, existaient déjà en 1845.

Voici la traduction des passages principaux de cette patente :

L'invention a pour base l'emploi de conducteurs métalliques ou de charbons continus, chauffés à blanc, par le passage d'un courant électrique. Le meilleur métal pour cet usage est le platine, le meilleur charbon est celui de cornue.

Quand on emploie le charbon, il est utile, à cause de son affinité pour l'oxygène à haute température, de le mettre à

l'abri de l'air et de l'humidité, comme il est indiqué figure 45. Le conducteur C repose sur un bain de mercure; la tige B est en porcelaine, elle sert à soutenir le conducteur C, le conducteur D est fixé sur la cloche par un joint bien hermétique. La baguette en charbon de cornue A repose, en haut et en bas, sur des blocs conducteurs et

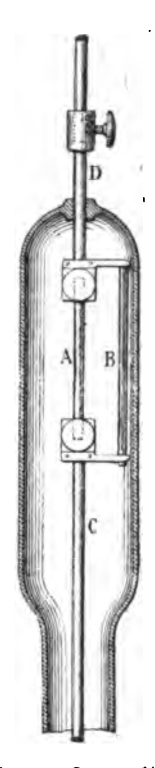


Fig. 45. Lampe King.

devient incandescente par le passage d'un courant électrique. Le vide est préalablement fait dans la cloche, et le mieux est d'employer un véritable baromètre en mettant un des pôles de la pile en communication avec la colonne de mercure et l'autre avec le conducteur D.

Pour obtenir une lumière intermittente, on rompt périodiquement le circuit par un mouvement d'horlogerie.

L'appareil, convenablement fermé, peut être appliqué à l'éclairage sous-marin ainsi qu'à l'illumination des poudreries, des mines, partout où l'on redoute les dangers d'explosion ou l'inflammation rapide de corps très-combustibles.

Lorsque le courant est d'une intensité suffisante, deux ou un plus grand nombre de lumières peuvent être placées dans le même circuit, en ayant soin de régler la puissance des machines magnéto-électriques ou des éléments de la pile, produisant le courant.

En 1846, Greener et Staite se firent breveter pour une lampe analogue à celle de King, en indiquant qu'il serait bon de débarrasser, avant son emploi, le charbon de ses impuretés en le traitant par l'acide nitro-muriatique.

En 1849, Pétrie termine la description d'un brevet de lampe par l'indication suivante : « Une lumière peut être produite en faisant passer un courant électrique à travers un conducteur court et mince qui s'échauffe et devient lumineux ; mais la plus grande partie des substances fondent et brûlent rapidement ; cependant j'obtiens une bonne lumière en me servant de l'iridium ou de quelques-uns de ses alliages. L'iridium peut être fondu jusqu'à produire un lingot lorsqu'il est soumis à la chaleur de l'arc voltaïque ; on le décarbonise ensuite et on le rend plus malléable. Puis on le coupe par petits morceaux de $0^{m},001$ de diamètre et de $0^{m},010$ à $0^{m},020$ de longueur que l'on fixe entre deux supports métalliques isolés, lesquels sont en connexion avec les deux fils d'une batterie galvanique convenable. On obtient alors une belle lumière. »

Plusieurs autres brevets ont été pris en Amérique, en France et en Angleterre dans le même ordre d'idées ; mais aucun d'eux ne nous paraît plus complet, plus explicite et plus réalisable que celui de King ; il est donc inutile de continuer notre nomenclature.

L'éclairage par incandescence et le principe de sa production étaient depuis longtemps tombés dans l'oubli, lorsqu'en 1873, un physicien russe, M. Lodyguine, ressuscita l'un et l'autre et créa une petite lampe, qui fut depuis perfectionnée par MM. Konn et Bouliguine.

En 1874, l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg décerna un grand prix à M. Lodyguine. Voici quelques extraits du rapport présenté à cette occasion par M. Wild, directeur de l'Observatoire impérial russe; ce rapport, comme on le verra, renferme plusieurs erreurs capitales :

« On savait aussi depuis longtemps que l'on peut employer la faculté réchauffante du courant électrique, même sans l'aide d'un gaz comme dans l'arc galvanique lumineux, pour chauffer au blanc un corps solide. Se basant sur ce principe, on a souvent chauffé ainsi des fils de platine minces, donc mauvais conducteurs, en les faisant traverser par un fort courant électrique. La lumière obtenue par ce procédé est beaucoup plus faible et plus constante que la lumière électrique au charbon; elle a aussi plus de force d'extension, et peut être augmentée ou diminuée à volonté; néanmoins, elle n'a jamais trouvé un emploi pratique, parce qu'elle est trop faible en comparaison de son prix de revient, et parce qu'en voulant lui donner plus d'intensité on aboutit facilement à faire fondre le fil de platine, qui, en général, n'est pas tout à fait homogène.

« C'est M. Lodyguine qui, le premier, a eu l'idée de remplacer, dans ces expériences de combustion, le fil de platine par de minces tiges d'un charbon (coke) analogue au graphite, c'est-à-dire bon conducteur, et par là il a résolu le problème de l'éclairage électrique.

« Les avantages de cette substitution du charbon au platine sautent tellement aux yeux aussi au point de vue théorique, que l'on est tout étonné — comme cela est d'ailleurs le cas pour beaucoup d'importantes inventions — de

ce qu'on n'en ait pas eu l'idée plus tôt. Le charbon possède, à température égale, un pouvoir beaucoup plus grand de rayonnement que le platine; la capacité calorique du platine est supérieure (presque du double) à celle du charbon en question, bon conducteur, de sorte que la même quantité de calorique élève la température d'une petite tige de ce charbon à un degré presque deux fois plus élevé qu'elle ne le fait pour un fil de platine du même volume. En outre, la résistance du charbon en question, comme conducteur d'électricité, est environ 250 fois plus grande que celle du platine; il en résulte que la petite tige de charbon peut être 15 fois plus épaisse qu'une tige de platine de la même longueur et que le courant qui la traverse engendrera la même quantité de chaleur. Enfin, le charbon peut être chauffé au blanc jusqu'au degré le plus extrême sans qu'on ait à en redouter la fusion, comme c'est le cas pour le platine. C'est à ces importants avantages théoriques que l'on doit évidemment le grand succès du mode d'éclairage électrique de M. Lodyguine.

« Le seul inconvénient de l'emploi du charbon au lieu du platine consiste en ce que, dans la combustion, le charbon se combine avec l'oxygène de l'air et se consume ainsi peu à peu. Mais M. Lodyguine a déjà paré à cet inconvénient en enfermant le charbon chauffé au blanc par le courant électrique dans un récipient en verre hermétiquement clos et de l'intérieur duquel l'oxygène est expulsé par un procédé des plus simples.

« Il n'appartient d'ailleurs pas à l'Académie des sciences de donner son jugement ni, d'un côté, sur ces difficultés techniques et d'autres encore qui se présenteront dans l'application en grand de l'invention de M. Lodyguine, ni, d'un autre côté, sur les nombreux avantages pratiques de ce mode d'éclairage comparativement à tous les autres; il suffira à l'Académie d'avoir constaté que, grâce à cette

invention, se trouve résolu, de la manière la plus simple possible, le grand problème de diviser la lumière électrique et de la rendre constante[1], pour reconnaître M. Lodyguine, en considération des nombreuses applications utiles de son invention, digne d'obtenir le prix Lomonossow. »

Dans sa lampe, M. Lodyguine employait des crayons d'une seule pièce en diminuant leur section à l'endroit du foyer lumineux, et il plaçait deux charbons dans un même appareil avec un petit commutateur extérieur, pour faire passer le courant dans le deuxième charbon quand le premier était usé. Rien de moins pratique et de moins étudié que les appareils de cet inventeur.

M. Kosloff, de Saint-Pétersbourg, qui vint en France dans l'espoir d'exploiter le brevet Lodyguine, perfectionna un peu sa lampe, sans cependant aboutir à quelque chose de passable.

En 1875, M. Konn, également de Saint-Pétersbourg, fit breveter une lampe plus pratique, que nous représentons figure 46, et qui a été construite pour la première fois, en France, par M. Duboscq.

Cette lampe se compose d'un socle A en cuivre sur lequel sont fixées deux bornes N pour attacher les conducteurs, deux tiges C, D en cuivre et une petite soupape K, ne s'ouvrant que de dedans en dehors. Un globe B, évasé à sa partie supérieure, est retenu sur le socle au moyen d'un écrou en bronze L pressant sur une bague en caoutchouc, exactement comme cela a lieu dans les niveaux d'eau de chaudières à vapeur.

Une des tiges verticales D est isolée électriquement du bâti et communique avec une borne également isolée. L'autre tige C est formée de deux parties : 1° d'un tube fixé

1. On verra dans la suite combien le problème a été peu résolu par M. Lodyguine.

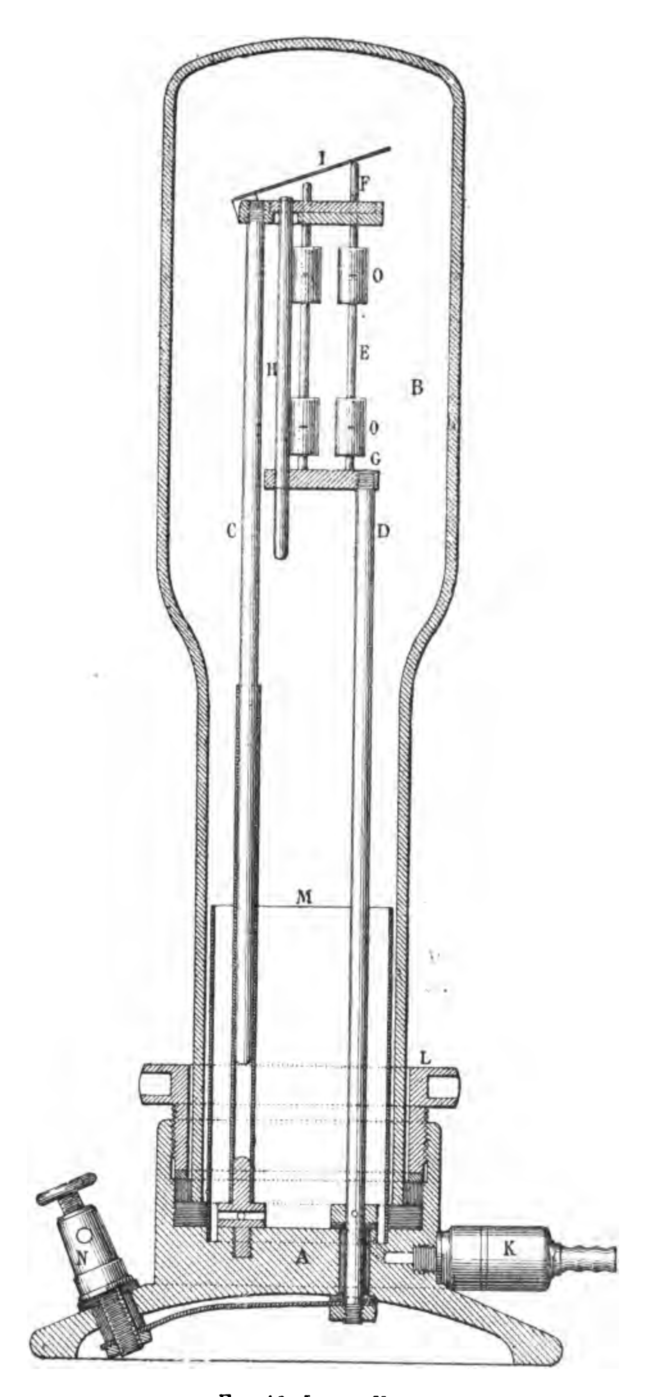


Fig. 46. Lampe Kohn.

directement sur le socle sans isolation, et 2° d'une baguette de cuivre, fendue dans une partie de sa longueur. Cette fente lui donne de l'élasticité et lui permet de coulisser dans le tube tout en restant fixe, si l'on n'exerce pas sur elle un certain effort.

Les charbons de cornue E, au nombre de 5, sont placés entre les deux petits plateaux qui couronnent les tiges.

Chaque charbon est introduit dans deux petits blocs, également en charbon, lesquels reçoivent des baguettes de cuivre à leurs extrémités. Les baguettes sont égales entre elles à la partie inférieure et de longueurs inégales à la partie supérieure. Une charnière I est articulée sur la tige C et repose sur la baguette d'un seul charbon à la fois.

Si l'on place cette lampe dans un circuit en attachant les deux conducteurs d'une pile aux bornes NN′ (la borne N′ est cachée par la borne N; mais elle est identique et n'est pas isolée du socle), la tige de carbone E est traversée par le courant qui passe par l'intermédiaire de la charnière I, de la baguette de cuivre F, des deux blocs de charbon O, O, de la baguette de cuivre G et du plateau couronnant la tige D.

Le vide a été préalablement effectué en plaçant sur l'ajutage de K le conduit d'une pompe à air ou d'une machine pneumatique quelconque.

La tige E rougit, blanchit et devient lumineuse. Sa lumière est d'abord blanche, fixe, constante ; puis petit à petit la section diminue, la tige se rompt et la lumière disparaît. La charnière I tombe alors sur une autre tige, et, presque instantanément, l'éclairage est rétabli.

Quand tous les charbons sont usés, la charnière s'arrête sur une tige en cuivre H et le courant n'est pas rompu. De cette manière, s'il y a plusieurs lampes alimentées par un même générateur d'électricité, l'extinction de l'une n'entraîne pas celle des autres.

Pour éviter la projection des petits charbons rompus et de leurs blocs contre le verre, M. Konn a placé à la partie inférieure de sa lampe un tube mince en cuivre M, qui reçoit les débris jusqu'à ce qu'on garnisse de nouveau les plateaux.

Trois de ces lampes ont été installées depuis deux ans chez M. Florent, négociant à Saint-Pétersbourg, et mises en action avec une machine de *l'Alliance*. Chaque charbon dure environ deux heures, à l'exception du premier, qui se consume presque immédiatement; la lumière est très-agréable, mais son prix de revient dépasse notablement celui du gaz. M. Florent, que nous avons eu occasion de voir plusieurs fois, nous a dit que le grand avantage qu'il avait trouvé dans l'emploi de l'éclairage électrique était dans sa propreté. Ses magasins renferment beaucoup de linge blanc, que le gaz altérait rapidement et sur lequel l'électricité n'exerce aucune fâcheuse influence. Le blanchissage économisé compense largement les frais supplémentaires nécessités par une installation importante, eu égard au peu de lumière obtenue.

Aucune expérience photométrique n'a été faite chez M. Florent; mais, en comparant avec le gaz, on évalue que chaque lampe Konn donne environ 20 becs Carcel.

La cause principale de la dépense exagérée qu'entraîne l'emploi de la lumière par incandescence, réside dans la difficulté de préparer les petits charbons, qui reviennent, en place, à plus de 5 francs le mètre.

Un officier russe, M. Bouliguine, a combiné une lampe (fig. 47) qui atteint à peu près le même but que celle de M. Konn avec un seul charbon. Elle se compose, comme la précédente, d'un socle en cuivre, de deux tiges verticales, de deux barres de prise de courants et d'une soupape d'évacuation.

Une des tiges est percée d'un petit trou du haut en bas et

possède, sur presque toute sa longueur, une fente permettant le passage de deux petites oreilles latérales.

Le charbon est introduit dans cette tige comme la mine d'un porte-crayon ordinaire, et il est sollicité à monter par des contre-poids reliés au moyen de deux câbles microscopiques, aux oreilles du support en croix sur lequel repose le charbon.

La partie du charbon qui doit entrer en incandescence est retenue entre les lèvres de deux blocs coniques en charbon de cornue.

Une vis, placée sous le socle, permet d'augmenter ou de diminuer la longueur de la tige qui porte le bloc conique supérieur, et, par suite, de donner à la partie lumineuse une plus ou moins grande longueur.

La fermeture du globe est obtenue par la pression latérale de plusieurs rondelles en caoutchouc.

Lorsque la lampe est placée dans un circuit, la baguette de charbon rougit et s'illumine jusqu'à ce qu'elle vienne à se rompre. A ce moment un petit mécanisme[1] commandé par un électro-aimant ouvre les lèvres des porte-charbons, le contre-poids du haut chasse les fragments qui pourraient rester dans l'entaille, les contre-poids du bas relèvent la tige en charbon, laquelle pénètre dans le bloc supérieur et rétablit le courant. Le mécanisme commandé par l'électro-aimant agit de nouveau, mais en sens inverse de sa première manœuvre, les porte-crayons se resserrent et la lumière renaît.

Nous avons, à plusieurs reprises, expérimenté cette lampe et nous n'avons jamais obtenu de très-bons résultats.

1. Le mécanisme en question, que l'exiguïté de notre dessin ne nous a pas permis de figurer, se compose en substance d'une armature en fer placée dans l'intérieur de la lampe et de deux tringles métalliques agissant sur deux leviers croisés et articulés sur la bague enveloppant les porte-charbons.

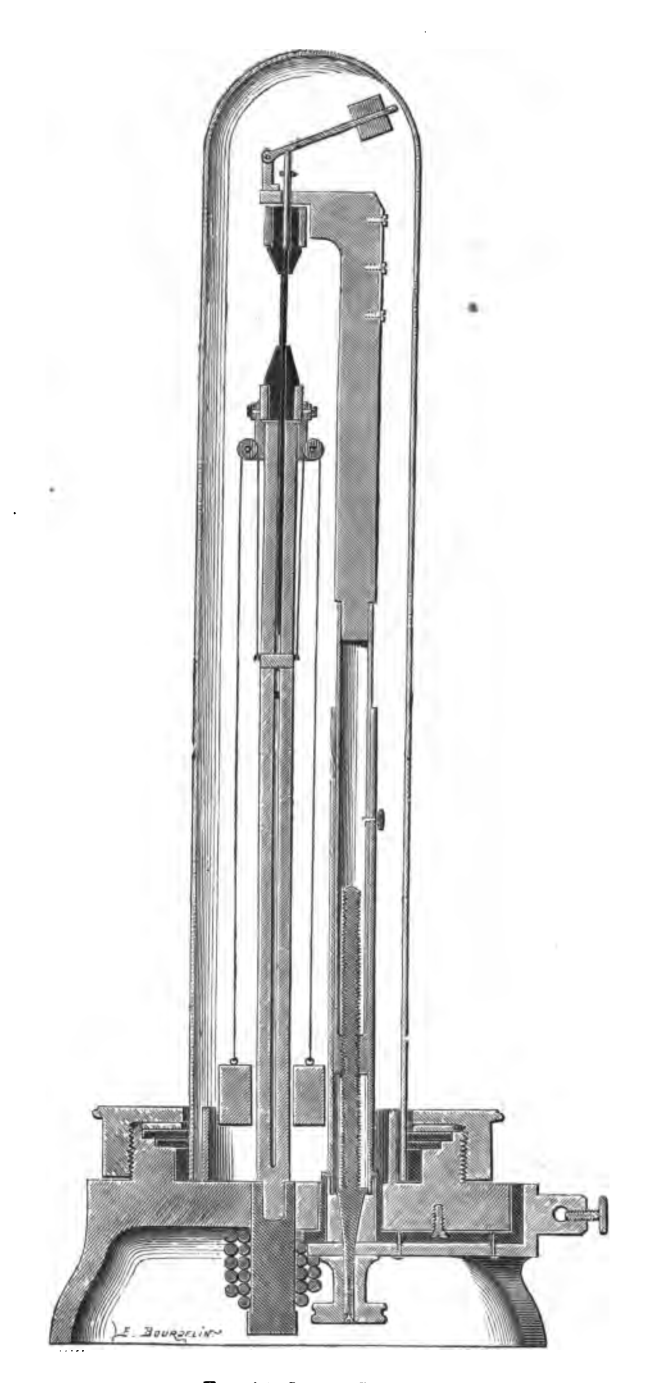


FIG. 47. Lampe Bouliguine.

Elle renferme trop d'organes en mouvement, et le moindre obstacle empêche le mécanisme de jouer. Cependant nous avons observé que lorsque par hasard elle fonctionnait régulièrement, les contacts étant meilleurs et moins nombreux que ceux de la lampe Konn, il fallait moins d'intensité de courant pour la production d'un éclat lumineux déterminé. Avec une machine Gramme de 100 becs, nous avons obtenu avec une seule lampe jusqu'à 80 becs, tandis qu'avec une lampe Konn nous ne pouvions jamais dépasser 60 becs.

Pour bien nous rendre compte de la valeur réelle du système d'éclairage par incandescence, nous avons fait faire, sous nos yeux, une série d'expériences avec plusieurs lampes Konn et une pile Bunsen de 48 éléments de 0^m,20 de hauteur.

La première opération a consisté dans la mesure des résistances du charbon de cornue à section carrée. Les échantillons essayés avaient 0^m,002 de côté. Voici les résultats de huit expériences :

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	LONGUEUR DES ÉCHANTILLONS.	RÉSISTANCE EN MÈTRES DE FIL TÉLÉGRAPHIQUE.
1	0^m,100	16^m
2	0 ,100	14
3	0 ,100	15
4	0 ,100	14 ,50
5	0 ,100	19
6	0 ,050	7
7	0 ,050	9
8	0 ,050	7
TOTAUX.....	0^m,650	101^m,50

D'où il résulte que la résistance linéaire moyenne du charbon de cornue de 0^m,002 est d'environ 172, celle d'un fil télégraphique de 0^m,004 étant prise pour unité.

On a ensuite arrondi les charbons jusqu'à réduire leur diamètre à $0^m,0016$ et réglé leur longueur de manière à obtenir $0^m,018$ de partie incandescente. Le vide était obtenu à environ $0^m,70$ de mercure.

Les résultats ci-dessous représentent les moyennes de plus de 20 séries d'expériences.

ÉTAT DU CIRCUIT.	MODES DE COUPLAGE DE LA PILE.							
	2 SÉRIES PARALLÈLES de 24 éléments.		3 SÉRIES PARALLÈLES de 16 éléments.		4 SÉRIES PARALLÈLES de 12 éléments.		1 SEULE SÉRIE DE 48 ÉLÉMENTS en tension.	
	Indication du galvanomètre.	Intensité lumineuse de chaque lampe.	Indication du galvanomètre.	Intensité lumineuse de chaque lampe.	Indication du galvanomètre.	Intensité lumineuse de chaque lampe.	Indication du galvanomètre.	Intensité lumineuse de chaque lampe.
Circuit fermé sur lui-même....	47	»	70	»	70	»	50	»
5 lampes..	28	Rouge blanc.	17	Rouge cerise.	10 ou 11	Rouge sombre.	35	1/2 bec.
4 lampes..	29	1/2 bec.	22	Rouge blanc.	16	Rouge orangé.	38	2 becs 1/2.
3 lampes..	38	1 à 2 becs.	28	1/3 de bec.	26	1/4 de bec.	41	3 becs 1/2.
2 lampes..	40	3 becs.	41 à 42	2 becs 1/2 à 3 becs.	40 à 45	3 à 5 becs.	44	5 becs.
1 lampe...	43	4 à 5 becs.	49	11 à 12 becs.	60	40 becs.	45 à 46	6 becs 1/2 à 7 becs.

Les lampes étaient groupées comme les éléments d'une pile en tension, elles formaient donc une série unique.

Dans le tableau suivant sont consignés les résultats obtenus avec des lampes assemblées en *batteries*, c'est-à-dire sur des courants distincts dérivés de la pile. A cause des différences notables reconnues dans les intensités des lumières de chaque lampe, pendant la même expérience,

nous donnons la lumière totale au lieu de celle produite par chaque lampe.

ÉTAT DU CIRCUIT.	MODES DE COUPLAGE DE LA PILE.							
	2 SÉRIES PARALLÈLES de 24 éléments.		3 SÉRIES PARALLÈLES de 16 éléments.		4 SÉRIES PARALLÈLES de 12 éléments.		8 SÉRIES PARALLÈLES de 6 éléments.	
	Indication du galvanomètre.	Totalité de la lumière émise par l'ensemble des lampes.	Indication du galvanomètre.	Totalité de la lumière émise par l'ensemble des lampes.	Indication du galvanomètre.	Totalité de la lumière émise par l'ensemble des lampes.	Indication du galvanomètre.	Totalité de la lumière émise par l'ensemble des lampes.
Circuit fermé sur lui-même	58 1/2	»	68	»	69	»	70	»
5 lampes....	57	»	64 1/2	1/4 de bec.	63 1/2	2 becs 1/2.	60	»
4 lampes....	56 1/2	»	63	3/4 de bec.	63	3 becs.	59	»
3 lampes....	56	1 bec.	61 1/2	2 becs.	62	4 becs.	58	3/4 de bec
2 lampes....	55	5 becs.	60	6 becs 1/2.	59	15 becs 1/2.	55	1 bec 1/2.
1 lampe.....	52 1/2	9 becs.	57 1/2	54 becs.	55	65 becs.	46	8 becs.

Plusieurs observations importantes ont été faites pendant les expériences.

Quand les récipients sont étanches et les contacts soigneusement mis d'aplomb, les charbons ont une durée satisfaisante. Le premier charbon d'une lampe ne dure jamais moins d'un quart d'heure, quelquefois il ne se brise qu'au bout de 30 à 35 minutes, mais cela est très-rare, sa durée moyenne est de 21 minutes. Les charbons qui succèdent, durent en moyenne 2 heures, à moins cependant que l'intensité lumineuse n'atteigne 40 becs, auquel cas ils ne durent en moyenne qu'une demi-heure. Dans l'expérience des 4 séries parallèles de 12 éléments, les 5 lampes étant assemblées en batteries et une seule allumée, le charbon, qui donnait 65 becs, n'a duré que 23 minutes en moyenne.

L'examen attentif des charbons incandescents, à travers un verre fortement coloré, a montré qu'ils ne sont pas

uniformément brillants. Ils présentent des taches obscures, indices de non-homogénéité et siéges de gerçures qui désagrégent rapidement le charbon.

Le vide n'étant jamais parfait dans les récipients, le premier charbon est brûlé en grande partie. Il semble qu'ensuite, le peu d'oxygène contenu dans la lampe étant transformé en acide carbonique et oxyde de carbone, le charbon doive se conserver indéfiniment. Mais il se produit alors une sorte d'évaporation qui continue à ruiner lentement les baguettes incandescentes. Cette évaporation est d'ailleurs nettement prouvée par un dépôt pulvérulent de charbon sublimé qu'on trouve sur la surface intérieure des cloches, sur les diverses pièces intérieures : tiges, contacts, charnières, etc.

Aucune cloche n'a été cassée par chaleur ou refroidissement pendant toutes les expériences qui ont duré plusieurs mois, mais plusieurs ont eu leur col brisé par le serrage trop énergique du joint.

La partie délicate de la lampe est dans la série des contacts qui précèdent la baguette incandescente. On n'obtient l'aplomb des charbons, indispensable à leur durée, qu'avec des précautions minutieuses et longues. Après rupture, le contact ne se reforme pas toujours automatiquement, et une fois sur trois on est obligé de secouer la lampe pour provoquer l'allumage du charbon suivant.

Les rendements maxima ont constamment été ceux obtenus avec une seule lampe et avec 4 éléments de quantité ; dès qu'on employait deux lampes ou qu'on descendait à 2 éléments de quantité, les résultats étaient considérablement diminués.

Nous avons fait tout récemment les mêmes expériences avec des charbons artificiels Gaudoin de même section que les premiers, et les résultats ont été plus satisfaisants. Ainsi la lumière totale produite avec 48 éléments en

4 séries et une seule lampe a atteint 80 becs, et celle produite avec la même pile et 3 lampes a atteint 30 becs.

La même pile, couplée en tension et agissant sur une lampe Serrin, donnait un arc voltaïque de 105 becs; mais la lumière obtenue par incandescence était beaucoup plus fixe et plus agréable aux yeux.

De ce qui précède il paraît résulter que le procédé King et Lodyguine est beaucoup plus favorable aux grands foyers qu'à la divisibilité de la lumière électrique; cependant il convient de remarquer que lorsqu'on ne dépasse pas 10 becs par lampe, les charbons ont une assez longue durée, tandis qu'ils s'usent très-vite pour une intensité de 60 et 80 becs.

Les charbons de $0^m,0016$ de diamètre et $0^m,018$ de longueur lumineuse étaient jusqu'alors les seuls que nous ayons essayés; ils se comportaient assez bien avec un fort courant, mais ne donnaient aucune lumière avec 12 éléments. Il était intéressant de chercher quelle lumière on peut obtenir avec 12 éléments en diminuant la longueur des charbons. Ce fut le but d'une nouvelle série d'expériences.

Cinq combinaisons diverses ont été tentées, en faisant varier tour à tour le couplage de la pile, le diamètre du charbon et sa longueur.

Les meilleurs résultats ont été obtenus avec une lampe unique garnie de charbons Gaudoin de $0^m,0016$ de diamètre et de $0^m,015$ de partie incandescente.

La lumière constatée a varié entre 2 et 8 becs, elle a été le plus souvent de 5 becs. Chaque charbon a duré 15 minutes en moyenne.

Nous devions reprendre toutes ces expériences, en substituant à la pile une machine Gramme combinée pour donner le meilleur effet utile possible; mais les imperfections des lampes, la difficulté d'obtenir de bons contacts,

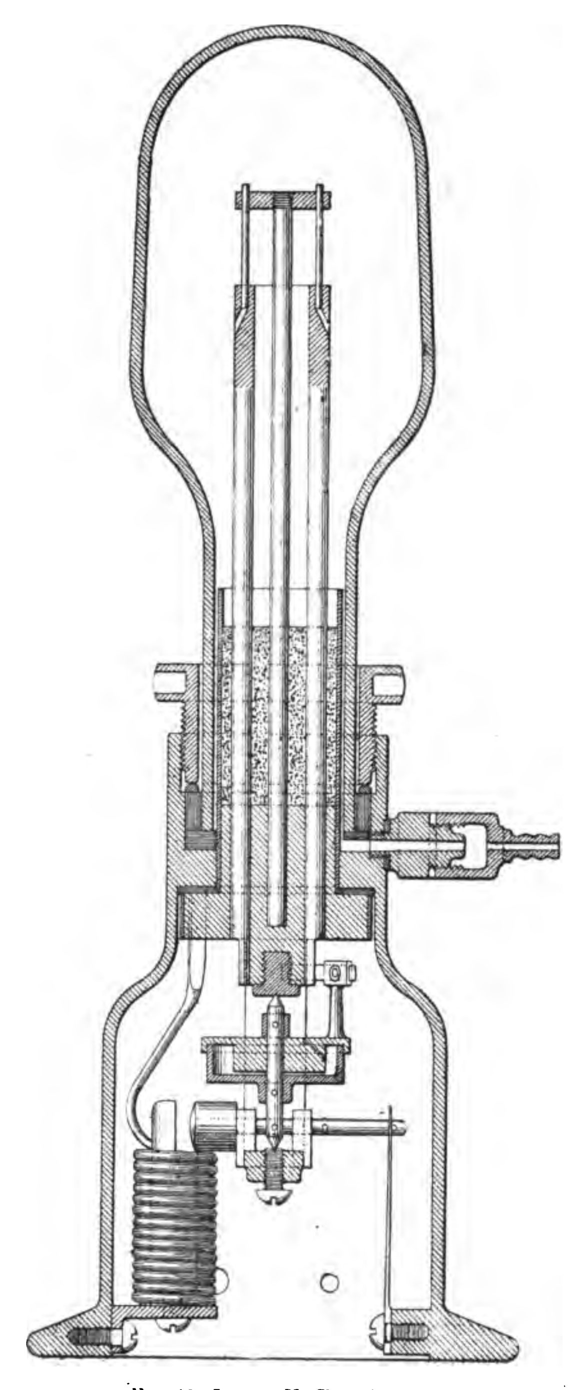


Fig. 48. Lampe H. Fontaine.

les soins trop minutieux à prendre au commencement de chaque opération, nous ont décidé à étudier préalablement une lampe un peu plus commode et un peu plus pratique que celle de M. Korn.

Cette lampe, que nous représentons figure 48, est actuellement en construction chez M. Bréguet. Elle est caractérisée par les deux points suivants : 1° les charbons sont encastrés par chacune de leurs extrémités dans des contacts rigides et maintenus fixes, ce qui permet de faire fonctionner la lampe dans toutes les positions; 2° le courant électrique passe automatiquement d'un charbon à l'autre par l'action d'un électro-aimant intercalé dans le circuit.

Une description, même sommaire, n'aurait pas un grand intérêt, puisque la lampe n'est pas encore exécutée; le dessin indique d'ailleurs suffisamment le dispositif que nous avons adopté pour réaliser notre projet.

CHAPITRE XII.

DIVISIBILITÉ DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

Observations générales sur la divisibilité de la lumière électrique. — Impossibilité de créer de très-petits foyers avec les moyens actuellement connus. — Invention de M. de Changy. — Rapport de M. Jobart. — Régulateur-diviseur Lacassagne et Thiers. — Expériences de M. Le Roux. — Appareil de M. de Mersanne. — Expériences de M. Jablochkoff aux magasins du *Louvre*. — Nouvelle communication de M. Denayrouse à l'Académie des sciences.

A peine les remarquables effets de l'arc voltaïque ont-ils été entrevus, qu'on a pensé à diviser la lumière électrique et, avant même qu'il existât un bon régulateur pour foyer unique, King prenait un brevet pour une lampe à fractionnement. Cependant, tandis que la création d'un seul foyer allait de progrès en progrès et qu'on parvenait à produire un soleil artificiel de 4 000 becs avec 10 chevaux de force, grâce aux crayons de cornue que Foucault préconisa, aux lampes Serrin, aux machines Gramme, aux projecteurs Sautter et Mangin, aux crayons Carré et Gaudoin, la divisibilité restait à peu près stationnaire et ne parvenait pas à sortir du domaine spéculatif pour entrer dans celui des faits accomplis.

S'il fallait nous prononcer entre le procédé King qui date de 1845 et celui de M. Jablochkoff qui date d'hier, nous serions vraiment fort embarrassé pour dire quel est celui des deux qui est le plus près de la véritable solution, sans d'ailleurs méconnaître le mérite exceptionnel des deux inventeurs.

Est-ce à dire que la divisibilité de la lumière électrique soit irréalisable et qu'il faille renoncer à tout jamais à voir

l'électricité remplacer le gaz dans ses multiples applications? Non, cent fois non, la science est loin d'avoir dit son dernier mot sur les transformations de ce fluide mystérieux qui a déjà supprimé la distance et qui pourra très-bien, à un moment donné, supprimer la nuit; seulement nous constatons qu'au point de vue pratique, malgré le bruit et les réclames à l'emporte-pièce faites récemment en Russie, malgré les remarquables travaux de M. Jablochkoff et l'initiative non moins remarquable de M. Denayrouse, il n'existe aujourd'hui, 1er mai 1877, rien qui soit d'un emploi facile, rien que l'on puisse recommander pour un essai provisoire et, *à fortiori*, pour une installation définitive.

Tous les dix ans une nouvelle idée surgit, les cent voix de la renommée la portent aux nues, puis, après quelques tentatives infructueuses, le silence se rétablit petit à petit. En 1847 on commença à annoncer la découverte que King avait faite, en Angleterre, des charbons incandescents; en 1857, M. de Changy, en Belgique, remplaça le charbon par le platine et combina un régulateur du courant; en 1867, M. Leroux, en France, fit connaître une méthode pour faire passer le même courant alternativement et très-rapidement dans plusieurs régulateurs ordinaires; enfin en 1877, M. Jablochkoff, officier russe, fait passer l'étincelle sur une lame de kaolin et obtient une série de petites lumières.

Nous croyons que pour qu'un succès complet vienne couronner de si grands efforts, il faudra découvrir une nouvelle source d'électricité ou trouver le moyen d'utiliser industriellement l'électricité atmosphérique.

Pour éviter des tentatives onéreuses et des désillusions si fréquentes, il suffirait de connaître l'équivalent mécanique de la lumière comme on connaît celui de la chaleur.

Chacun des systèmes proposés a d'ailleurs du bon, beaucoup de bon, et, sans aucun doute, il est susceptible de rendre des services importants dans des cas spéciaux;

le tort des inventeurs est surtout de vouloir trop généraliser l'emploi de leurs appareils et de parler immédiatement de supprimer le gaz d'éclairage. Certes l'électricité a déjà un champ immense d'exploitation, et la lecture des chapitres VII et VIII a dû convaincre le lecteur des grands avantages qu'elle présente dans une foule d'applications; mais de là à prendre partout la place occupée par le gaz, il y a une distance qui, très-probablement, ne sera jamais complétement franchie. Nous n'avons jamais tant admiré la facilité d'emploi, la simplicité d'installation, le fractionnement indéfini et la multiplicité des usages du gaz, que depuis que nous nous occupons de l'éclairage à l'électricité.

Nous n'appelons pas ***divisibilité de la lumière électrique*** la production de plusieurs foyers intenses avec la même machine ou avec la même pile voltaïque; il n'est question ici que de petits foyers de 1 à 15 becs Carcel par exemple. Il est incontestable qu'on peut actionner plusieurs lampes avec un même appareil magnéto-électrique, toute la question est alors de savoir si l'appareil unique ne coûte pas plus cher de premier établissement et de mise en action, qu'une série de petits appareils alimentant chacun une lampe. Jusqu'à ce jour nous avons été partisan de ce dernier mode d'installation, mais nous avons toujours encouragé les recherches sur le premier, et il n'est pas impossible que M. Gramme ait encore la gloire de le rendre tout à fait pratique.

Etant bien entendu que la divisibilité de la lumière électrique est pratiquement irréalisable, quant à présent du moins et avec les moyens proposés jusqu'à ce jour [1], nous

1. Il ne faut pas perdre de vue que nous ne parlons que du présent sans préjuger de l'avenir; c'est à peine si de temps à autre nous émettons un avis sur les expériences en cours d'exécution, car nous ne voudrions décourager personne, ni donner un renseignement inexact aux industriels qui désirent connaître notre opinion.

passons à l'examen des principaux systèmes imaginés pour la solution du problème.

Nous avons déjà vu, par le résultat d'expériences directes, que l'invention de M. King, réinventée par M. Lodyguine et perfectionnée par M. Konn, était plutôt convenable pour un foyer unique que pour la divisibilité; cependant l'incandescence des petits charbons dans le vide offre de grands avantages au point de vue de la fixité de la lumière et de la faible dépense qu'elle entraîne. Il est nécessaire, avant d'en rejeter tout à fait l'emploi, de faire de nouvelles expériences avec des charbons plus minces et plus courts de diverses qualités. Peut-être réussira-t-on à employer ce système, là où il faut une seule lampe et une grande régularité de lumière. Des travaux commencés par nous en vue de la réalisation de cette idée seront bientôt achevés, mais il nous est encore impossible d'en formuler le résultat, même approximativement.

On n'a jamais bien su comment M. de Changy opérait; tout ce qu'on peut dire, c'est que ses expériences de laboratoire étaient parfaites, surtout si on les juge par la communication suivante, faite à l'Académie des sciences, le 27 février 1858 :

« Je m'empresse d'annoncer à l'Académie l'importante découverte du fractionnement d'un courant électrique pour l'éclairage, provenant d'une seule source, en autant de filets que l'on désire, depuis la veilleuse jusqu'au phare maritime.

« On sait que l'arc lumineux produit entre deux charbons ne peut donner qu'un foyer très-intense, très-instable, très-désagréable et très-coûteux. Un jeune chimiste, physicien, mécanicien et praticien à la fois, M. de Changy très au courant des découvertes et des instruments nouveaux, vient de résoudre le problème de la divisibilité du courant galvanique.

« C'est en sortant de son laboratoire, où il travaille seul depuis six ans, que je viens donner un rapide aperçu de ce que j'y ai vu, c'est-à-dire une pile de 12 éléments Bunsen perfectionnée par lui, produisant un arc lumineux constant, sans intermittence et sans crépitation entre deux charbons rapprochés par un régulateur de son invention, le plus parfait et le plus simple que je connaisse; de plus, une douzaine de petites lampes de mineur, mobiles sur des tringles ou des fils de cuivre, dont il peut à volonté allumer ou éteindre l'une ou l'autre, ou toutes ensemble, sans que l'intensité de la lumière augmente ou diminue par l'extinction des lampes voisines. Ces lampes, contenues dans des tubes de verre hermétiquement fermés, sont destinées à l'éclairage des mines à grisou, aussi bien qu'aux réverbères des rues, qui s'allumeraient et s'éteindraient tous dans une ville en ouvrant ou fermant le circuit. Cette lumière est blanche et pure comme celle du gaz Gillard, avec laquelle elle a ce seul point de contact, que c'est l'incandescence du platine qui la produit. Les tuyaux de conduite de gaz seraient alors remplacés par de simples fils, et ne pourraient occasionner ni explosions, ni incendies, ni mauvaises odeurs.

« Tous les essais de production de la lumière électrique par l'incandescence du platine n'ont pu aboutir jusqu'ici, parce que les fils se fondaient à défaut d'un *régulateur-diviseur* du courant, et c'est ce problème que M. de Changy a résolu sans reste; il estime que cette lumière coûtera moitié moins que celle du gaz. Une lampe placée au sommet des mâts de navire constituera un signal permanent qui péut durer plus de six mois sans qu'on ait besoin de changer le platine. Si l'on en place plusieurs dans des tubes de verre coloré, comme on peut les éteindre ou les allumer rapidement d'en bas, rien n'est plus aisé que d'en former un télégraphe nocturne. Quant aux phares de côtes, on peut

donner au foyer une telle amplitude, que sa portée lumineuse dépassera celle de tous les lucifers connus jusqu'ici.

« J'ai vu également une ampoule lumineuse en verre épais, que l'on peut immerger à des profondeurs considérables, sans qu'aucun mouvement ou bouleversement puisse l'éteindre. Elle a déjà été essayée en rivière et a servi à prendre des poissons, qui sont attirés et non effrayés par la lumière. Il est probable que, dans un temps donné, la mer inépuisable, nourrira la terre et que les pêches miraculeuses ne le seront plus.

« Ce simple aperçu suffira pour faire comprendre à combien d'applications diverses peut se prêter la découverte que j'ai l'honneur de signaler à l'Académie, avec la conviction que je n'ai pas été dupe d'une illusion, malgré mon étonnement de voir une lampe s'allumer dans le creux de ma main, et rester allumée en la mettant dans ma poche avec mon mouchoir par-dessus. »

Il ne faudrait pas croire que cette communication ait été faite par une personne étrangère à la science, susceptible de s'être laissé tromper par un inventeur enthousiaste. Non, elle émanait de cet esprit vigoureux, admirablement précis dans les audaces de ses initiatives, dans ce répertoire scientifique vivant, qui s'appelait Jobart, de Bruxelles[1].

Nous n'avons pu nous procurer les dessins du régulateur-diviseur de courant, inventé par M. de Changy; mais

1. M. Jobart est né en Bourgogne. Il était alors directeur du Musée royal de l'industrie belge, chevalier de la Légion d'honneur et de François Ier de Naples, président de la Société des inventeurs français, président de l'Académie nationale de l'industrie agricole et manufacturière, membre de l'Institut des États-Unis, de l'Institut des provinces de France, de l'Institut polytechnique de Berlin, des Sociétés d'encouragement de Paris et de Londres, des Académies de Dijon, de Reims, de Rouen, d'Angers, de Lille ; commissaire royal aux principales expositions d'industrie, etc., etc., etc.; auteur de divers ouvrages sur l'industrie.

nous avons vu celui qu'imaginèrent MM. Lacassagne et Thiers, et qu'ils firent breveter en 1854.

La théorie de cet appareil reposait sur les observations suivantes, que nous extrayons du brevet.

On sait que lorsqu'un courant, pour se rendre à sa destination, est obligé de traverser un liquide moins conducteur que les réophores employés, l'intensité ou la quantité d'électricité mise en mouvement dans un temps donné est en raison inverse de la résistance offerte par le liquide interposé. Cette résistance peut être augmentée ou diminuée, soit en diminuant ou en augmentant la conductibilité du liquide, soit en augmentant ou en diminuant la surface immergée. On sait également que la puissance magnétique d'un électro-aimant varie avec l'intensité du courant; que lorsque les surfaces des conducteurs immergés sont en métal inaltérable, on peut obtenir à l'état libre le gaz résultant de la décomposition du liquide, et qu'enfin la quantité de gaz obtenue dans un temps donné est en raison directe de l'intensité du courant.

Pour mettre ces principes en état de produire le résultat demandé, MM. Lacassagne et Thiers coupaient en deux l'un des conducteurs d'une pile en activité, attachaient une lame de platine à chaque extrémité et suspendaient les lames dans l'intérieur d'une cloche de gazomètre en verre. Le gazomètre contenait de l'eau acidulée. La cloche s'abaissait ou relevait, suivant que l'on donnait ou non issue aux gaz formées. L'ascension de la cloche produisait naturellement une diminution d'intensité galvanique, tandis que sa descente produisait l'effet inverse.

Un électro-aimant, muni d'une armature à levier, avec ressort antagoniste, complétait le système.

Voici comment l'appareil fonctionnait :

On commençait par régler le ressort antagoniste de l'électro-aimant pour l'obtention d'un courant déterminé.

Tant que l'attraction magnétique était plus grande que la tension du ressort, l'armature restait en contact et les gaz provenant de la décomposition de l'eau, ne pouvant s'échapper, faisaient monter la cloche, ce qui diminuait les points de contact des lames de platine, et, par suite, l'intensité du courant. Il arrivait un moment où l'équilibre s'établissait, et même où la force du ressort dépassait celle du magnétisme; l'armature de l'électro s'éloignait alors, ouvrait un robinet par lequel s'échappait un peu de gaz, et les choses reprenaient bien vite leur cours normal. Dans un régulateur bien réglé, le robinet restait continuellement entr'ouvert et l'armature était très-rapprochée de l'électro-aimant sans jamais le toucher.

Il est facile de concevoir qu'un semblable régulateur appliqué à chacune des petites lampes de M. de Changy empêcherait les fils de platine de se brûler; mais la seule complication qui résulterait de cette combinaison la rendrait absolument inapplicable, quand même elle n'aurait aucun autre inconvénient en pratique.

MM. de la Rive et Elie Wartmann, tous deux physiciens à Genève, ont observé qu'avec une pile qui fonctionne bien et un régulateur très-sensible, on peut interrompre le courant pendant un trentième de seconde sans que l'arc varie; mais que, si l'interruption dure davantage, l'arc faiblit pour s'évanouir lorsque le courant a cessé depuis un dixième de seconde.

Mettant à profit cette observation, M. Le Roux a obtenu de très-beaux résultats, qu'il a communiqués à l'Académie des sciences le 30 décembre 1867. Voici quelques extraits de sa communication :

« L'étincelle de la pile électrique est incapable généralement de jaillir entre deux conducteurs séparés. (Il a fallu 3500 éléments isolés avec un grand soin pour avoir une étincelle n'ayant qu'une fraction de millimètre de lon-

gueur.) Les courants d'induction produits par les machines magnéto-électriques ont une plus grande tension, c'est ce qui explique la lumière produite par les machines à courants non redressés.

« J'ai obtenu les mêmes effets avec une pile de 50 éléments Bunsen, le courant interrompu pendant un vingt-cinquième de seconde jaillit jusqu'à $0^{m},003$ d'intervalle. Ce fait ne serait peut-être pas sans intérêt au point de vue des applications de la lumière électrique, j'y vois une solution du problème infructueusement poursuivi jusqu'ici du fractionnement de cette lumière. En attendant, nous pouvons déduire de cette expérience quelques conséquences. Quand le courant passe entre deux conducteurs de manière à produire l'arc voltaïque, il paraît dès maintenant probable que la condition de ce passage n'était pas l'arc voltaïque lui-même, mais l'élévation de la température. La conductibilité du milieu interpolaire n'est peut-être qu'une extension de celle que M. Ed. Becquerel a constatée dans les gaz échauffés et qui se trouverait considérablement accrue par suite de l'élévation énorme de la température. Peut-être aussi le charbon qui forme les électrodes a-t-il une tension de vapeur sensible à cette température et cette vapeur vient-elle accroître la conductibilité du milieu. »

M. Le Roux a pu ainsi diviser la lumière, en lançant au moyen d'une roue distributrice qui tournait rapidement, le courant d'une pile de Bunsen, alternativement dans deux régulateurs, de manière à ce qu'il passât dans chacun d'eux pendant le même nombre de fractions de seconde. Dans ces conditions les deux lumières étaient parfaitement égales.

En 1873, M. de Mersanne se fit breveter pour diviser les courants électriques d'après le même principe que M. Le Roux. L'invention porte sur des éléments de construction mécanique si élémentaires, si connus, si peu susceptibles

d'être brevetés, que nous n'en aurions même pas parlé si l'année suivante M. de Mersanne n'avait pris un certificat d'addition présentant une disposition sinon pratique, du moins originale.

Dans cette disposition la roue distributrice de M. Le Roux est remplacée par un arbre horizontal portant une série de cames. Des galets articulés à des tiges métalliques reçoivent de ces cames un mouvement alternatif et font plonger, dans des godets pleins de mercure, des tiges verticales. En donnant à l'arbre une grande vitesse on peut, par ce moyen, mettre successivement en contact plusieurs lampes avec le courant voltaïque et diviser ainsi une source unique d'électricité en plusieurs parties égales ou inégales, suivant la combinaison des interrupteurs.

L'année dernière, dans notre voyage à travers les grandes villes des États-Unis, nous avons cherché à connaître les travaux faits en Amérique sur l'éclairage à l'électricité, et nous n'avons trouvé nulle part d'installation tant soit peu pratique. Plusieurs physiciens nous ont parlé des efforts qu'ils avaient tentés en vue d'arriver à la divisibilité des courants, mais aucun d'eux ne put nous montrer un appareil méritant une simple mention. Nous signalerons seulement, comme étant la plus récente, la patente prise par M. Henry Woodward en 1876, relative à l'incandescence d'un charbon dans un gaz raréfié doué de la propriété de ne pas se combiner chimiquement avec le carbone rouge.

Nous avons déjà parlé des bougies à charbons parallèles de M. Jablochkoff, il nous reste à donner quelques renseignements sur les expériences que l'on fait actuellement aux *Grands Magasins du Louvre* et sur la note présentée par M. Denayrouse le 17 avril dernier à l'Académie des sciences.

Aux *Grands Magasins du Louvre*, l'installation de M. Ja-

blochkoff a pour objet d'augmenter l'éclairage de la salle dite *Marengo*, comprise entre les deux grandes galeries longitudinales de Rivoli et Saint-Honoré. Cette salle reçoit déjà une vive lumière du gaz, tant des 11 lustres qui l'éclairent en propre que de toutes les salles qui l'entourent au rez-de-chaussée et à l'entre-sol, et dont elle n'est séparée que par de grandes arcades. Tout autour de la salle Marengo et aux deux tiers environ de la hauteur, règne une galerie en encorbellement sur laquelle on a fixé les flambeaux électriques.

Deux machines de *l'Alliance* alimentent 6 bougies. Un petit dispositif assez ingénieux permet de remplacer les bougies au fur et à mesure qu'elles s'usent sans interruption sensible de la lumière. Les bougies sont garnies de globes diffusants et munies de réflecteurs pour renvoyer la lumière en avant.

Les bougies se composent de deux crayons de carbone de $0^m,004$ de diamètre sur $0^m,12$ de longueur (fabrication de M. Carré), isolés par une petite lame en matière siliceuse fixés sur deux tubes en cuivre et reliés entre eux par un tampon en amiante. Une petite tige cylindrique en charbon en communication avec la pointe des deux crayons sert à l'allumage des bougies.

Il est difficile d'apprécier l'intensité lumineuse obtenue par l'électricité, parce que le gaz de la salle n'est jamais éteint complétement et que les galeries voisines envoient beaucoup de lumière; cependant, à l'aide d'un photomètre de poche, nous avons constaté que chaque bougie a approximativement une puissance de 20 à 25 becs. Les irrégularités sont faibles, mais assez fréquentes. Il existe un petit tremblotement presque continuel dans tous les foyers, provenant de la nature des crayons, des variations de vitesse du moteur, etc., et auquel vient s'ajouter un mouvement spécial qui fait chanter le globe diffusant et qui

semble être dû à une sorte d'ébullition de la matière siliceuse interposée entre les charbons.

Les bougies peuvent, nous assure-t-on, durer trois quarts d'heure. Au *Louvre* on les remplace toutes les demi-heures.

L'examen de cet éclairage doit porter non-seulement sur les effets apparents que tout le monde peut apprécier en quelques visites, mais aussi et surtout sur ses frais d'installation et sur sa dépense par heure et par unité de lumière; et, comme il s'agit de lumière électrique, le mieux est de le comparer aux installations électriques déjà existantes; celle de la fabrique de caoutchouc de M. Ménier, à Grenelle, par exemple.

Considérés au point de vue purement scientifique, les travaux de M. Jablochkoff ont une valeur incontestable; ils prouvent que l'on peut placer trois arcs voltaïques sur un même courant électrique et que deux charbons parallèles, séparés par une lame siliceuse, produisent une lumière beaucoup moins intense, mais tout aussi régulière et moins intermittente que celle obtenue avec un régulateur et des charbons de cornue. Ils prouvent également que l'arc voltaïque est susceptible de fournir un foyer lumineux beaucoup moins vif, et par suite, plus facile à installer dans un petit local que celui obtenu par les charbons en opposition.

La possibilité de diviser la lumière électrique, dans des essais ou pour des démonstrations scientifiques, était déjà prouvée par l'installation faite chez M. Florent, à Saint-Pétersbourg, au moyen de la lampe Konn; mais le point caractéristique des nouvelles expériences porte sur la divisibilité au moyen de l'arc voltaïque dans l'air ambiant, tandis que celui des expériences de M. Konn portait sur les baguettes incandescentes dans le vide. Là est toute la différence.

Il est certain qu'en continuant ses belles études et grâce

au concours actif de M. Denayrouse, M. Jablochkoff arrivera à produire la lumière plus économiquement et à diminuer sensiblement les frais d'installation que son système exige actuellement ; mais il n'est pas moins certain qu'au point de vue des applications industrielles, l'installation faite aux magasins du Louvre ne démontre absolument rien, si ce n'est que le nouveau mode d'éclairage donne des résultats économiques très-inférieurs à ceux de l'éclairage électrique ordinaire.

Cela est facile à établir.

Les 2 machines et les 6 porte-bougies de l'installation Jablochkoff coûtent au moins autant que 6 machines Gramme et 6 lampes Serrin. Les 6 bougies donnent 240 becs Carcel [1]. 6 machines Gramme avec des charbons Gaudoin donnent 3 000 becs Carcel. A frais de premier établissement égaux, une installation avec régulateur produit donc 12 fois plus de lumière qu'une installation avec bougie.

En admettant que les 2 machines de *l'Alliance* absorbent 5 chevaux de force, ce qui est un minimum, 2 machines Gramme avec la même force produiraient 1 000 becs Carcel au lieu de 240 produits par les 6 bougies. Là encore l'avantage est considérable en faveur de l'éclairage au moyen de régulateur.

Mais c'est surtout lorsqu'on compare la consommation des crayons de carbone que la supériorité de l'ancien système devient saisissante. Une bougie électrique, qui

1. Ce chiffre n'a rien d'absolu, nous avons trouvé de 20 à 25 becs par bougie, et nous avons prié deux personnes de vérifier notre évaluation; l'une a estimé 22 becs, l'autre 30. Cependant, comme il est très-difficile de prendre des mesures exactes, nous ne serions pas étonné d'avoir noté un chiffre un peu faible. En tout état de cause, nous admettons 40 becs par bougie, en faisant observer que même en doublant ce nombre, la conclusion qui résulte de notre comparaison ne serait modifiée en aucune manière.

dure une demi-heure, coûte au moins 0f,50, ce qui correspond à 1 franc par heure pour 40 becs et à 12f,50 par heure pour 500 becs; or la même quantité de lumière est produite chez M. Ménier, à Grenelle, avec 0f,25 de crayons ordinaires. La dépense de crayons est donc 50 fois plus grande par l'emploi de la bougie que par l'emploi du régulateur.

Nous ne saurions trop répéter que M. Jablochkoff parviendra vite à réduire dans une certaine mesure les écarts considérables que nous signalons; les machines de *l'Alliance* sont chères, mais il est possible de les fabriquer à meilleur marché; les bougies sont également susceptibles d'être établies beaucoup plus économiquement. Le seul fait sur lequel nous désirons insister, c'est qu'actuellement il est matériellement impossible de remplacer avantageusement les régulateurs par des bougies.

L'essai fait dans les *Grands Magasins du Louvre* est très-intéressant, il attire la foule, les journaux en parlent avec éloge, et, s'il n'est pas absolument pratique, il n'en mérite pas moins de fixer l'attention publique comme le germe d'un grand progrès qui sera peut-être fécondé dans un avenir prochain.

En somme, on ne peut tirer de cet essai aucune conclusion favorable ou défavorable; c'est peut-être un acheminement vers la solution, mais à coup sûr ce n'est pas la solution. L'effet obtenu montre surtout la différence des couleurs de la lumière électrique et de la lumière du gaz. C'est à peu de chose près ce qu'on remarquait il y a quelques années sur le boulevard des Italiens, lorsque M. Tessié du Motay faisait des expériences de gaz oxyhydrique.

La note présentée à l'Académie par M. Denayrouse est relative à la suppression complète du charbon dans la production de la lumière électrique.

M. Jablochkoff a eu l'idée d'introduire dans le circuit

central d'une machine magnéto-électrique le fil intérieur d'une série de bobines d'induction et de faire passer l'étincelle d'induction sur une lame de kaolin placée simplement entre les deux extrémités du fil extérieur de chaque bobine. La lame de kaolin, interposée, s'échauffe, rougit et devient lumineuse.

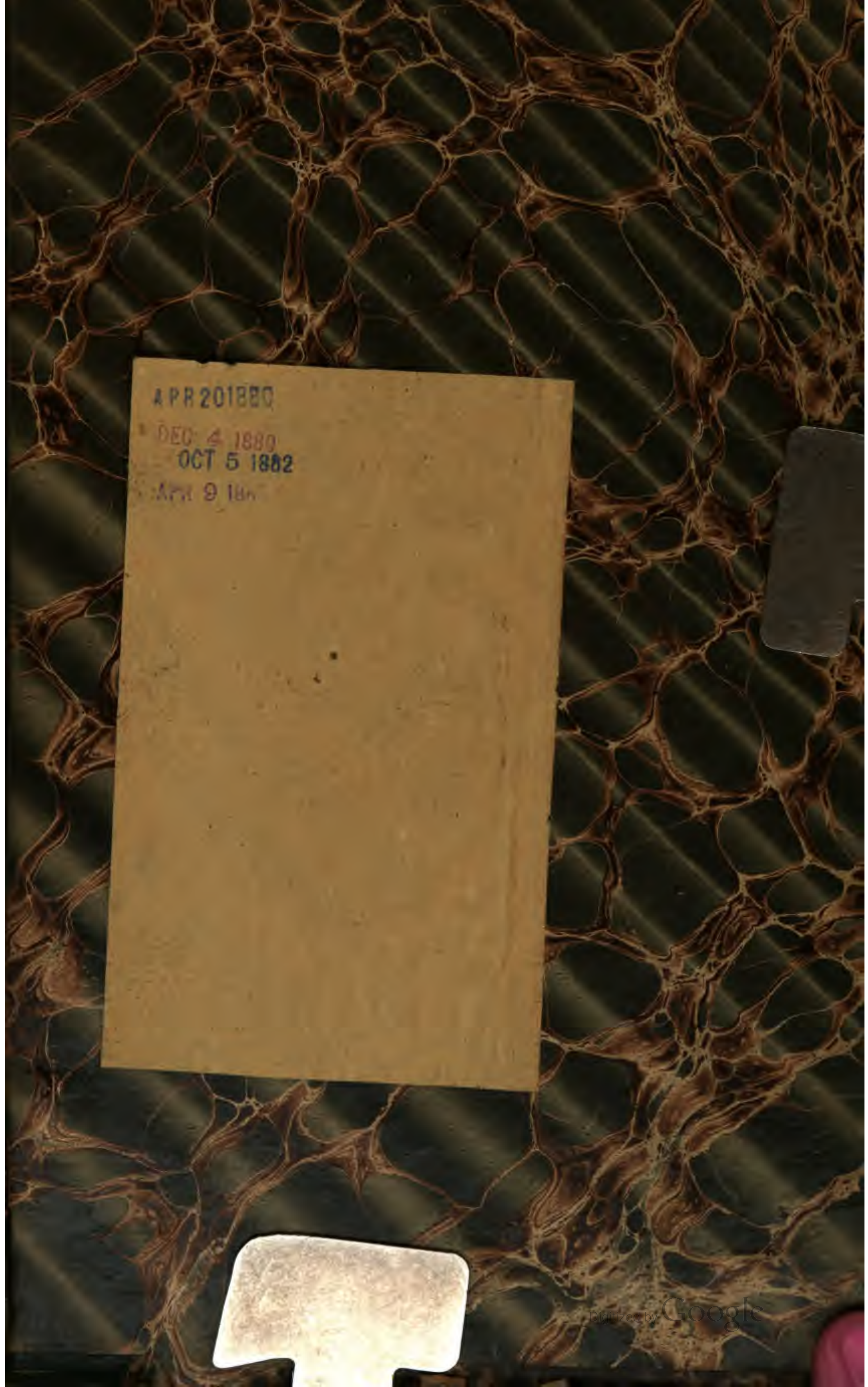
Le courant passe d'abord sur une amorce plus conductrice placée sur le rebord de la lame de kaolin.

Par ce moyen, M. Jablochkoff espère parvenir à produire 50 foyers lumineux avec une seule machine magnéto-électrique ; c'était ce qu'espéraient aussi MM. King, Lodyguine, Konn, Kosloff et de Changy. Puisse M. Jablochkoff être plus heureux que ses devanciers ! Nous lui souhaitons de grand cœur le succès.

FIN.

PARIS. — TYPOGRAPHIE A. HENNUYER, RUE D'ARCET, 7.





APR 20 1880
DEC 4 1880
OCT 5 1882
APR 9 18
Digitized by Google



3 2044 091 966 127
Google